



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ  
FAKULTA**  
Univerzita Karlova

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Adam Dragula

## **Krátkodobé srážkové úhrny**

Katedra fyziky atmosféry

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Eva Holtanová, Ph.D.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Obecná fyzika

**Praha 2019**

Na tomto mieste by som sa rád srdečne poďakoval RNDr. Eve Holtanovej, Ph.D. za príležitosť podieľať sa na tejto práci, za jej vedenie a hlavne za odborné pripomienky, ktoré výrazne obohatili moje vedomosti. Taktiež vďaka patrí Českému hydrometeorologickému ústavu, ktorý nám poskytol cenné historické dáta, bez ktorých by bola táto práca neuskutočniteľná.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V ..... dne.....

podpis

Název práce: Krátkodobé srážkové úhrny

Autor: Adam Dragula

Katedra / Ústav: Katedra fyziky atmosféry

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Eva Holtanová, Ph.D., Katedra fyziky atmosféry

Abstrakt: Hlavním cílem práce je analýza krátkodobých úhrnů srážek s důrazem na období přechodu mezi měřeními ombrografem a automatickým srážkoměrem. Pro tuto analýzu byla použita data Českého hydrometeorologického ústavu obsahující 10-minutové úhrny srážek z ombrografu a 10/15-minutové úhrny srážek z automatických srážkoměrů pro čtyři klimatologické stanice. V první části práce jsou zhrnuty základní poznatky o měření srážek a o metodách detekce nehomogenit v klimatických časových řadách. Cílem vlastní analýzy dat je analyzovat základní charakteristiky statistického rozdělení krátkodobých úhrnů v měřítku dní, hodin a 10/15-minutových intervalů. Porovnání je nejdříve realizováno pro období přechodu od měření ombrografem k automatickému srážkoměru, kdy mají tyto techniky měření překryv, poté jsou porovnávána období před a po automatizaci. Hlavním výsledkem práce je popis možné příčiny nehomogenity způsobené změnou měřicí techniky, a to podhodnocení nízkých úhrnů srážek u ombrografu a problémy s měřením vysokých intenzit srážek u člunkového automatického srážkoměru.

Klíčová slova: srážky, automatizace, homogenizace

Title: Short-term precipitation amounts

Author: Adam Dragula

Department: Department of Atmospheric Physics

Supervisor: RNDr. Eva Holtanová, Ph.D., Department of Atmospheric Physics

Abstract: The main object of this thesis is an analysis of short-term precipitation amounts with emphasis on transition period between pluviometer and automatic rain gauge. For the analysis, we were given data by Czech hydrometeorological institute, which contain precipitation amounts measured by pluviometer of 10 minutes term and precipitation amounts measured by automatic rain gauges of 10 and 15 minutes terms for four climatic stations. A summary of basic knowledge of measurement of precipitation and methodology of detection of inhomogenities in climatic time series is the point of the first part of the thesis. The aim of data analysis is to analyze basic characteristics of statistical distribution of precipitation amounts on a scale of days, hours and finally 10 or 15 minutes terms. A comparison of the distribution is carried out firstly in the transition period, where measurements of pluviometer and automatic rain gauge have an overlap, then two separate periods before and after automation are being compared. The main outcome of the thesis is a description of a possible cause of an inhomogeneity caused by a change of measuring technique, which is underestimating of low precipitation amounts by pluviometer and problems concerned with measuring high precipitation intensities by automatic rain gauge.

Keywords: precipitation, automation, homogenization

Názov práce: Krátkodobé zrážkové úhrny

Autor: Adam Dragula

Katedra / Ústav: Katedra fyziky atmosféry

Vedúci bakalárskej práce: RNDr. Eva Holtanová, Ph.D., Katedra fyziky atmosféry

Abstrakt: Hlavným cieľom práce je analýza krátkodobých úhrnov zrážok s dôrazom na obdobie prechodu medzi meraniami ombrografom a automatickým zrážkomerom. Pre túto analýzu boli použité dáta Českého hydrometeorologického ústavu obsahujúce 10-minútové úhrny zrážok z ombrografu a 10/15-minútové úhrny zrážok z automatických zrážkomerov pre štyri klimatologické stanice. V prvej časti práce sú zhrnuté základné poznatky o meraní zrážok a o metódach detekcie nehomogenít v klimatických časových radách. Cieľom vlastnej analýzy dát je analyzovať základné charakteristiky štatistického rozdelenia krátkodobých úhrnov v merítke dní, hodín, či 10/15-minútových intervalov. Porovnanie je najskôr realizované pre obdobie prechodu od merania ombrografom ku automatickému zrážkomeru, kedy majú tieto merania prekryv, potom sú porovnávané obdobia pred a po automatizácii. Hlavným výsledkom práce je popis možnej príčiny nehomogenity spôsobenej zmenou meracej techniky, a to podhodnocovanie nízkych úhrnov zrážok u ombrografu a problémy spojené s meraním vysokých intenzít zrážok u člnkového automatického zrážkomera.

Kľúčové slová: zrážky, automatizácia, homogenizácia

# Obsah

Úvod	1
<b>1. Kontrola kvality dát</b>	<b>2</b>
<b>2. Homogenizácia časových radov</b>	<b>4</b>
2.1. Všeobecný algoritmus homogenizácie	5
2.1.1 Referenčné rady	5
2.1.2 Testy relatívnej homogenity	6
2.1.2.1 Alexanderssonov test homogenity pre jednoduchý zlom	7
2.1.2.2 Test Easterlinga a Petersona	8
2.1.2.3 MASH	9
<b>3. Meranie zrážok</b>	<b>10</b>
3.1 Klasifikácia zrážok	10
3.1.1 Kvapalné zrážky	10
3.1.2 Tuhé zrážky	11
3.1.3 Zmiešané zrážky	12
3.2 Typy meracích prístrojov	12
3.3 Meranie zrážok na území ČR	15
<b>4. Analyzované dáta, popis staníc</b>	<b>16</b>
<b>5. Analýza dát</b>	<b>18</b>
5.1 Kontrola dát z ombrografu	18
5.2 Prekryv ombrograf – automat	19
5.2.1 Denné úhrny	19
5.2.1.1 Ostrava – Poruba	20
5.2.1.2 Kocelovice	24
5.2.2 Hodinové úhrny zrážok	29

5.3 Porovnanie období pred/po automatizácii	33
5.3.1 Denné úhrny zrážok	33
5.3.2 Hodinové úhrny zrážok	40
5.3.3 Krátkodobé úhrny zrážok	46
<b>Záver</b>	<b>49</b>
<b>Zoznam literatúry</b>	<b>51</b>
<b>Zoznam tabuliek</b>	<b>53</b>
<b>Zoznam skratiek</b>	<b>54</b>

# Úvod

Od samotného začiatku meraní meteorologických prvkov klimatológovia vedeli, že nestačí dáta iba namerať, ale že je nutné podstúpiť procesy, ktoré ich dovedú k uspokojivému výsledku, ktorým sú homogénne časové rady bez chybných údajov. Týmito procesmi sú kontrola kvality dát a homogenizácia časových radov.

Kontrola kvality má za úlohu odhaliť a odstrániť hrubé chyby v nameraných dátach. Homogenizácia je proces, ktorého podstatou je detekcia a odstránenie nehomogenít. Rada je homogenná práve vtedy, ak sú jej výchyľky spôsobené čisto klimatickými faktormi, čiže variáciami podnebia (*Štěpánek a kol.*, 2011). Medzi typické príklady faktorov, ktoré môžu spôsobiť nehomogenity v nameraných dátach sú: premiestnenie stanice, zmena pozorovateľa, urbanizácia, zmena meracej techniky, či zmena pozorovacích praktík (napríklad rôzne vzorce pre výpočet denných teplotných priemerov a pod.).

Prvé štúdie venované tejto téme na našom území sa zaoberali homogenizáciou dlhých časových radov teploty vzduchu, atmosférických zrážok a relatívnej vlhkosti vzduchu pre jednotlivé stanice (napr. *Macková*, 1997, *Brázdil a Štěpánek*, 1998) . Ja sa vo svojej rešerši opieram najmä o prehľadové publikácie *Štěpánek a kol.* (2011) a *Štěpánek a kol.* (2012).



# 1. Kontrola kvality dát

Kontrola kvality predstavuje proces, ktorým musia nevyhnutne prejsť všetky namerané dáta. Jej cieľom je odhaliť a následne odstrániť zjavné hrubé chyby, ktoré sa v dátach môžu vyskytovať. Klimatológovia venovali veľa času vypracovaním postupov, ako čo najúčinnšie realizovať kontrolu kvality dát. Najčastejšie užívaná metóda kontroly kvality je vykonávaná kombináciou nasledujúcich metód (*Štěpánek a kol.*, 2011):

- analýza radov diferencií medzi testovanou a susednou stanicou (v angličtine tzv. pairwise comparisons),
- aplikácia hranice vychýlených hodnôt vychádzajúcich z násobkov medzikvartilového rozpätia, ktorú možno použiť buď pre individuálnu radu alebo pre diferencie medzi testovanou a referenčnou radou (absolútna/relatívna metóda)
- porovnávanie testovaných hodnôt s očakávanými, resp. teoretickými hodnotami – technické rady vytvorené prostriedkami štatistických metód pre plošné dáta

Pri aplikácii prvého zmieneného postupu by mali rady oboch staníc obsahovať iba náhodnú zložku, čím je správna detekcia vychýlených hodnôt spoľahlivejšia, než pri použití pôvodnej rady danej stanice, v ktorej sa prejavujú rôzne ďalšie faktory, vrátane klimatologických. Susedné stanice alebo referenčné rady možno vyberať na základe korelačných koeficientov alebo vzdialenosti. ČHMÚ používa pre kontrolu kvality dát výber podľa vzdialenosti, nakoľko sieť meteorologických staníc na území ČR je pomerne hustá a tým pádom sa výber podľa vzdialenosti zhoduje s výberom na základe korelačných koeficientov. Korelačný koeficient je najvyšší pre najbližšie stanice, s rastúcou nadmorskou výškou koeficient klesá, a to rýchlejšie u zrážkových úhrnov ako pri teplote vzduchu (*Štěpánek a kol.*, 2011).

V druhom zmienenom spôsobe sa pre detekciu podozrivých hodnôt používa

postup založený na medzikvartilovom rozpätí nameraných hodnôt. Vychýlené hodnoty sú definované ako hodnoty ležiace mimo interval

$$[q_{0.25} - koef(q_{0.75} - q_{0.25}), q_{0.75} + koef(q_{0.75} - q_{0.25})], \quad (1)$$

kde  $q_{0.25}$  a  $q_{0.75}$  je dolný, resp. horný kvartil, koef sa pokladá rovný 1,5 pre vychýlené hodnoty alebo 3,0 pre hodnoty označované ako extrémny (Štěpánek a kol., 2011).

## 2. Homogenizácia časových radov

Klimatickú radu možno považovať za homogénnu v prípade, že kolísanie jej hodnôt je podmienené len výkyvmi počasia a kolísaním klímy. Pre spoľahlivú identifikáciu nehomogenít je potrebné mať k dispozícii kvalitné metadáta, ktoré umožňujú zistiť príčinu vzniku nehomogenity. Realita je ale častokrát taká, že metadáta k dispozícii nie sú. To znamená, že je nutné sa spoliehať na výsledky rôznych štatistických testov.

O relatívnej homogenite danej klimatologickej rady vzhľadom k rade homogénnej hovoríme vtedy, ak rozdiely prvkov, poprípade ich podiely, odpovedajúcich si dvojíc hodnôt tvoria radu náhodných čísel, ktorá vyhovuje zákonu chýb (*Štěpánek a kol.*, 2011). Na identifikáciu relatívnych nehomogenít sa používajú testy relatívnej homogenity, kedy porovnáваме hodnoty testovanej rady s hodnotami rady referenčnej. Predpokladom pre to je skutočnosť, že si testovaná a referenčná stanica odpovedajú, čo sa týka klimatických pomerov.

Rozoznávame niekoľko druhov relatívnych nehomogenít, ktoré sú podmienené rôznymi faktormi. Niektoré neklimatologické faktory spôsobujú skokovú zmenu úrovne rady, tj. systematickú zmenu v priemere. Na druhej strane iné faktory, predovšetkým zmeny v okolí stanice, môžu zapríčiniť postupnú zmenu vývoja danej rady, tj. existenciu trendu. Ďalšie neklimatologické faktory môžu vyústiť do zmeny variability rady, to znamená ovplyvňujú rozptyl tejto rady. Prirodzene, najľahšie detekovateľné nehomogenity v klimatologických radách, sú nehomogenity týkajúce sa dlhodobějších dát, hlavne dát mesačných. Typickým príkladom pre detekciu nehomogenity dlhodobějšíeho rázu je vplyv zosilňujúceho tepelného ostrova mesta. Pre detekciu podobných dlhodobých nehomogenít už existujú prepracované metódy, ale pre denné, či dokonca kratšie dáta, nie je zatiaľ k dispozícii podrobne prepracovaná metodika.

Presná detekcia nehomogenít v časových radách je značne obtiažna, nakoľko výsledky štatistických testov zväčša neumožňujú robiť jednoznačne závery o nájdených nehomogenitách. Pre čo najkvalitnejšiu homogenizáciu je nutné použiť niekoľko testov relatívnej nehomogenity a viac spôsobov výpočtu referenčnej rady.

Závažnosť detekovanej nehomogenity možno určiť z toho, ako často sa detekcia tejto nehomogenity zhodovala v jednotlivých testovaniach. Ak sa daná nehomogenita objaví len v malej časti testovaní, nie je jej určenie jednoznačné. V nasledujúcich odstavoch je uvedená metodológia homogenizácie, ktorá bola aplikovaná na časové rady rôznych charakteristík meteorologických prvkov v ČR v období 1961-2009 v štúdií Štěpánek a kol., 2011.

## 2.1 Všeobecný algoritmus homogenizácie

Všeobecný postup homogenizácie sa vyznačuje realizáciou nasledujúcich krokov:

- a) voľba či zostavenie referenčnej rady,
- b) použitie testov relatívnej homogenity,
- c) oprava nehomogenít a doplnenie chýbajúcich údajov.

### 2.1.1 Referenčné rady

Referenčné rady pre testovanú stanicu môžu byť zostavené viacerými spôsobmi (Štěpánek a kol., 2011).

- *Aritmetický priemer zo staníc vybraných podľa korelácií*

Pre všetky testované stanice sú referenčné stanice vybrané podľa najvyšších hodnôt korelačných koeficientov. Typickým kritériom je napríklad medián mesačných hodnôt korelácií. Taktiež je vhodné zvoliť najnižšiu prípustnú hodnotu korelačného koeficientu a stanice s nižšími koeficientami už nebrať do úvahy. Z takto vyseparovaných staníc je následne referenčná rada vypočítaná ako prostý aritmetický, poprípadе vážený priemer. Táto metóda výberu referenčnej rady sa ukazuje ako najvhodnejšia, nakoľko takto vybraná rada má na danú testovanú radu najtesnejšiu väzbu a je jej najviac podobná v porovnaní s ostatnými typmi referenčných radov. Na druhej strane môže táto metóda viesť k tomu, že pre tvorbu tohto typu referenčnej rady budú vybrané stanice s podobnými nehomogenitami. Avšak použitie korelačných

koeficientov počítaných z radov prvých diferencií tento efekt minimalizuje.

- *Aritmetický priemer zo staníc vybraných podľa vzdialenosti*

Metóda podobná prvej zmienenej s tým rozdielom, že namiesto korelačných koeficientov berieme do úvahy vzdialenosť medzi stanicami. Z takto vybraných staníc získame referenčnú radu opäť aritmetickým či váženým priemerom. V tomto prípade sa zachováva geografická blízkosť staníc, avšak aj blízko ležiace stanice môžu vykazovať odlišné klimatické podmienky, napríklad z dôvodu rôznej nadmorskej výšky.

- *Priemerná rada*

Globálnejšia metóda, ktorá berie do úvahy všetky stanice danej oblasti, napríklad v celej ČR. Predpokladom pre to sú ale dostatočne vysoké korelačné koeficienty. Referenčná rada sa potom vypočíta ako aritmetický priemer. Výhoda tejto metódy je tá, že sa možné nehomogenity vo vstupných radoch minimalizujú najviac zo všetkých uvedených postupov. Na druhej strane, prirodzená nevýhoda tejto metódy spočíva v tom, že takto zostavená referenčná rada má najmenšiu väzbu, tj. je najmenej korelovaná, s danou testovanou radou.

- *Jednotlivé rady susedných staníc*

Ako referenčné môžu byť vyberané aj jednotlivé susedné stanice, a to buď na základe vzdialenosti, alebo veľkosti korelačného koeficientu. Testovanie relatívnej nehomogenity potom prebieha samostatne pre každý pár testovaná rada – referenčná (susedná) rada. Tento postup je vhodný hlavne v prípade, kedy máme veľmi spoľahlivé meranie na niektorej z blízkych staníc, ktoré disponujú spoľahlivými a podrobnými metadátami a nezaznamenávajú výpadky merania.

### 2.1.2 Testy relatívnej homogenity

Testy relatívnej homogenity slúžia k detekcii nehomogenít v danej časovej rade. V posledných rokoch vynaložili klimatológovia značné úsilie na ich zdokonalenie. V nasledujúcom prehľade sú stručné charakteristiky najzákladnejších testov relatívnej homogenity (Štěpánek a kol., 2011).

### 2.1.2.1 Alexanderssonov test homogenity pre jednoduchý zlom

Alexanderssonov test SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) je pre svoju jednoduchosť a ľahkú aplikovateľnosť dnes vo svete hojne užívaný.

Existujú aj jeho modifikácie, vďaka ktorým možno testovať aj dva alebo viac zlomov či zmien v rozptyle (*Štěpánek a kol.*, 2011).

Najprv sa vytvorí rada pomerov (v prípade zrážok) alebo rada diferencií (v prípade teploty vzduchu) medzi radou testovanou a referenčnou. Táto rada je následne štandardizovaná:

$$z_i = (q_i - \bar{q}) / s_q \quad (2)$$

kde  $\bar{q}$  je hodnota aritmetického priemeru pomerov alebo diferencií rady  $\{q_i\}$ ,  $s_q$  je smerodatná odchýlka tejto rady s váhou  $n-1$ .

Nulová hypotéza je definovaná:

$$H_0: \quad z_i \in N(0, 1), i \in \{1, \dots, n\} \quad (3)$$

Alternatívna hypotéza je:

$$H_0: \quad z_i \in N(\mu_1, 1), i \in \{1, \dots, a\} \quad (4)$$

$$z_i \in N(\mu_2, 1), i \in \{a+1, \dots, n\}, \quad (5)$$

kde  $1 \leq a < n$ ,  $\mu_1 \neq \mu_2$  sú priemery oboch výberov,  $z_i \in N(0, 1)$  značí, že rada  $z_i$  má normálne rozdelenie s nulovým priemerom a jednotkovou smerodajnou odchýlkou.

Testovacie kritérium sa získa zo vzťahu:

$$T_0 = \max \{T_a\} = \max \{a(\bar{z}_1)^2 + (n-a)(\bar{z}_2)^2\}, a \in [1, n-1], \quad (6)$$

$$\text{kde } \bar{z}_1 = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^n z_i \quad (7)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{(n-a)} \sum_{i=a+1}^n z_i. \quad (8)$$

Hodnota  $a$  určuje rok, v ktorom s najväčšou pravdepodobnosťou došlo k zlomu, lepšie povedané, je to posledný rok s prvým priemerom  $\mu_1$ .

Ak je hodnota  $T_0$  väčšia než určitá kritická hodnota, radu hodnotíme ako nehomogénnu na danej hladine významnosti, teda zamietame nulovú hypotézu.

Nevýhodou tohto testu je fakt, že rok najpravdepodobnejšej zmeny má tendenciu nachádzať sa blízko začiatku a konca rady (Štěpánek a kol., 2011). Naviac, test predpokladá, že pomery, resp. rozdiely, majú aspoň približne normálne rozdelenie. Preto je dobré rady, ktoré toto rozdelenie nemajú, na toto rozdelenie pretransformovať.

### 2.1.2.2 Test Easterlinga a Petersona

Alexanderssonov SNHT test predpokladá existenciu iba jedného zlomu v časovej rade. V prípade, že zistí viac ako jeden zlom, konštatuje, že je daná rada nenapraviteľne nehomogénna. Prítomnosť viacerých diskontinuit vo väčšine časových radov inšpirovala Easterlinga a Petersona k vytvoreniu novej metódy, ktorá je zameraná na detekciu zlomu a zmeny trendu.

Najprv sa vypočíta sa rada diferencií (pomero) medzi testovanou a referenčnou radou a tá sa ďalej analyzuje. Pre radu diferencií sa určí lineárna regresná závislosť a vypočíta sa reziduálna suma štvorcov (RSS1), pričom rada diferencií sa berie ako predikant a čas ako prediktor. Ďalej je pre každý testovaný rok v rade diferencií vypočítaná lineárna regresná závislosť pre časť rady diferencií pred týmto rokom a iná lineárna regresná závislosť pre časť rady diferencií po tomto roku. RSS2 je reziduálna suma štvorcov vypočítaná z každej z dvoch zmienených regresných závislostí. Miesto s najnižšou hodnotou RSS2 je klasifikované ako miesto možnej

diskontinuity. Následne prebehne testovanie štatistickej významnosti nájdenej diskontinuity. Pre detaily tejto procedúry viďte publikáciu *Easterling and Peterson, 1995*.

### 2.1.2.3 MASH

MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization – Viacnásobná analýza radov pre homogenizáciu) je procedúra, ktorá bola pôvodne vyvinutá pre homogenizáciu radov mesačných hodnôt. Berie do úvahy významnosť, resp. efektívnosť, ktoré sú definované na základe chyby prvého, resp. druhého druhu (*Štěpánek a kol., 2011*).

MASH predstavuje iteratívny test relatívnej homogenity, ktorý nepredpokladá homogénne referenčné rady. Nehomogenity sú detekované a prípadne opravené porovnaním s niekoľko susednými stanicami, ktoré predstavujú výber z rovnakej klimatickej oblasti. Zo súboru dostupných radov je vybraná testovaná rada a zostávajúce sú považované za susedné, referenčné, rady. Behom jedného kola iterácie je vytvorených niekoľko radov diferencií medzi testovanou stanicou a váženými susednými stanicami. Za predpokladu, že testovaná rada je jediná, ktorá má spoločnú nehomogenitu so všetkými susednými radami, môže byť takýto bod zmeny pripísaný danej testovanej rade.

Metóda MASH určuje nielen pozíciu nehomogenity a veľkosť jej zmeny, ale tiež odpovedajúce intervaly významnosti. Pri rozhodovaní o nehomogenitách sa používajú tri po sebe uplatňované pravidlá. Pri použití prísneho pravidla sú opravené iba zlomy, ktoré sa zhodujú s informáciami v metadátach. Základné pravidlo určuje bod zmeny na základe kompromisu medzi informáciami z metadát a detekovanými zlomami v radách diferencií. Mierne pravidlo určuje bod zmeny na základe výsledkov štatistického testu, vyjadrených pomocou intervalov spoľahlivosti (tzv. nespochybniteľná nehomogenita). Pokiaľ sú k dispozícii metadáta, majú vždy prioritu.



### 3. Meranie zrážok

V prípade práce s akýmkoľvek typom dát je vhodné uviesť spôsob, akým dané dáta vlastne vznikli. V našom prípade ide o spôsoby merania zrážok, teda o popis prístrojov, ktoré sa k tejto činnosti používajú. V nasledujúcich odstavcoch je uvedená stručná klasifikácia typov zrážok a najčastejšie používané metódy ich merania.

#### 3.1 Klasifikácia zrážok

##### 3.1.1 Kvapalné zrážky

Kvapalné zrážky predstavujú hydrometeor (meteor tvorený sústavou vodných častíc v kvapalnom alebo pevnom skupenstve) tvorený vodnými kvapkami, ktoré dopadajú z oblakov na zemský povrch alebo sú usadené na predmetoch na zemskom povrchu, poprípade v atmosfére (*meteorologický slovník ČmeS*, online).

Medzi kvapalné zrážky patrí (*meteorologický slovník ČmeS*, online):

- *Dážď*:  
vodné zrážky vypadávajúce z oblakov v tvare kvapiek o priemere väčšom než 0,5 mm alebo aj menšom, pokiaľ sú veľmi rozptýlené.
- *Mrholenie*:  
pomerné rovnomerné, husté kvapalné zrážky, zložené výhradne z veľmi malých kvapôčok o priemere menšom než 500  $\mu\text{m}$ .
- *Mrznúci dážď/mrznúce mrholenie*:  
dážď/mrholenie, ktorého kvapky okamžite mrznú pri dopade na zemský povrch alebo na predmety, ktoré nie sú umelo zahrievané či ochladzované.
- *Rosa*:  
patrí medzi usadené kvapalné zrážky. Je to usadenina vodných kvapiek na predmetoch na zemi alebo blízko jej povrchu, vznikajúca kondenzáciou vodnej pary z okolitého vzduchu.

### 3.1.2 Tuhé zrážky

Tuhé zrážky predstavujú hydrometeor pevného skupenstva, ktorý je tvorený ľadovými čiastočkami, ktoré dopadajú z oblakov na zemský povrch alebo sú usadené na predmetoch na zemskom povrchu, poprípade v atmosfére (*meteorologický slovník ČmeS*, online).

Medzi tuhé zrážky patrí (*meteorologický slovník ČmeS*, online):

- *Sneh:*  
hydrometeor pevného skupenstva, ktorý vypadáva z oblakov a skladá sa z ľadových kryštálikov, z ktorých je väčšina obvykle hviezdovitito rozvetvená.
- *Snehové krúčky:*  
tuhé zrážky zložené z bielych kužeľovitých alebo guľatých častíc s priemerom od 2 do 5 mm.
- *Snehové zrná:*  
hydrometeor zložený z veľmi malých bielych a nepriehľadných zrníkov ľadu, ktoré sú obvykle sploštené a majú priemer menší ako 1 mm.
- *Zmrznutý dážď:*  
zrážky z priehľadných ľadových častíc guľového alebo nepravidelného tvaru o priemere 5 mm alebo menšom.
- *Krúpy:*  
guľové, kužeľovité alebo aj nepravidelné kusy ľadu o priemere 5 až 50 mm, niekedy aj väčšom, ktoré obvykle vznikajú v oblakoch s veľkou vertikálnou mohutnosťou.
- *Krúčky:*  
zrážky zložené z priesvitných ľadových častíc prevažne guľového, zriedkavo tiež kužeľovitého tvaru o priemere do 5 mm.
- *Zmrznutá rosa:*  
biela usadenina zmrznutých kvapiek rosy, ktorá nemá kryštalickú štruktúru.
- *Osuhel' (po česky jíní):*  
druh tuhých usadených zrážok, ktorý vzniká nanosením veľmi tenkej vrstvy

vodnej pary na aktívny povrch o zápornej teplote. Na rozdiel od zmrznutej rosy má kryštalickú štruktúru.

- *Poladovica (po česky ledovka):*  
súvislá, spravidla homogénna priehľadná vrstva, ktorá vzniká pri mrznúcom mrhnutí/mrznúcom daždi, zmrznutím vodných kvapiek na zemskom povrchu alebo na predmetoch v jeho blízkosti.
- *Námraza:*  
typ usadených tuhých zrážok, ktorý sa vytvára ako zrnitá, zvyčajne mliečne sfarbená, napriehľadná, ľadová usadenina, ozdobená kryštálkami v tvare vetvičiek zložených z ľadových zrní, oddelených vzduchovými medzerami.

### 3.1.3 Zmiešané zrážky

Zmiešané zrážky predstavujú hydrometeor tvorený súčasne kvapalnými a tuhými zrážkami. Vyskytujú sa najčastejšie pri prízemných teplotách okolo 0°C (*meteorologický slovník ČmeS, online*).

## 3.2 Typy meracích prístrojov

V priebehu meraní zrážok na našej planéte sa postupne vyvinulo niekoľko spoľahlivých spôsobov ako zrážky merať. Keďže každá metóda má svoje výhody aj nevýhody, je ťažké určiť, ktorý z prístrojov na meranie zrážok by bol tou najlepšou a najpresnejšou voľbou. Niektoré prístroje majú veľkú nepresnosť pri veľmi intenzívnych zrážkach, iné majú väčšiu nepresnosť pri zrážkach vypadávajúcich pri silnom vetre, niektoré prístroje sú vyslovene nepoužiteľné pri zrážkach pevného skupenstva. Preto je voľba spomedzi nasledovných typov zrážkomerov závislá na klimatických podmienkach, v ktorých je daná klimatická, poprípadе zrážkomerná, stanica umiestnená.

- *Zrážkometer manuálny (štandardný):*  
ako z názvu vyplýva, ide o bežný a najjednoduchší spôsob manuálneho zaznamenávania zrážok. Zrážkometer sa skladá z lievika, ktorý prechádza do zužujúceho sa valca, ktorý je vtesnaný do „zbernej nádoby” omnoho väčších rozmerov, ako je valec. Odčítanie úhrnu zrážok je vykonané odčítaním výšky hladiny vody vo valci. V prípade, že je zrážok priveľa, voda pretečie do zbernej nádoby. V termíne odčítania zrážok sa potom v tomto prípade vyleje tento pretečený objem vody do iného valca a celkový úhrn je daný súčtom úhrnov z oboch valcov. To sa však stáva veľmi zriedkavo, nakoľko objem merného valca predstavuje 250 mm zrážok. Sneh sa do zrážkomera dostáva bez lievika a necháva sa rozpustiť.
- *Ombrograf:*  
prístroj umožňujúci merať zrážky kontinuálne. Pozostáva z nádoby s plavákom, do ktorej stekajú zrážky. Objem stečených zrážok plavák nadvihne. Ten je napojený na registračné zariadenie, ktoré zapisuje na otáčajúci sa papier. Takto vytvorený záznam sa nazýva ombrogram (*meteorologický slovník ČmeS*, online). Zachytáva celkové množstvo zrážok v časovom úseku, na základe čoho sa dá odvodiť intenzita zrážok.
- *Zrážkometer automatický člnkový:*  
v modernej dobe sú väčšinou ombrografy nahrádzané modernejšími automatickými zrážkometermi, napríklad zrážkometerom člnkovým. Tie sú najčastejšie používané aj amatérskou meteorologickou komunitou, nakoľko sú súčasťou poloprofesionálnych meteorologických staníc. Princíp je jednoduchý. Zrážky stekajú zo záchytnej plochy na člnok, ktorý je predelený na dve zhodné časti. Po naplnení jednej z častí člnka sa člnok preklopí čisto tiažou vody a ďalšie zrážky stekajú do susednej časti. Celkový úhrn je daný počtom takýchto preklopení, vynásobeným množstvom zrážok, ktoré predstavuje jedno preklopenie člnka. To je väčšinou 0,1-0,3 mm, samozrejme, čím väčšie rozlíšenie, tým jemnejší a citlivejší člnok. Nevýhodou člnkového zrážkomera je fakt, že pri intenzívnych zrážkach sa preklápanie člnku oneskoruje, čoho výsledkom je podhodnotený celkový úhrn. Člnkové zrážkomery sa vyrábajú s rôznou záchytnou plochou a s rôznym tvarom

záchytnéj oblasti zrážkomera, a to prevažne z aerodynamických dôvodov (obmedzenie vplyvu vetra na presnosť merania). Automatické profesionálne zrážkomery sú vybavené vyhrievaním, ktoré umožňuje merať aj zrážky pevného skupenstva.

- *Zrážkomer automatický váhový:*

automatický hmotnostný zrážkomer pozostáva zo zbernej nádoby, ktorá je vážená pre zistenie úhrnu zrážok (*meteorologický slovník ČmeS*, online). Váženie môže byť realizované viacerými spôsobmi. Výhodou tohto typu zrážkomera voči zrážkomeru člnkovému je fakt, že nepodceňuje veľmi intenzívne krátkodobé zrážky. Taktiež sme schopní zmerať aj zrážky iného typu, napríklad sneh, či dokonca krúpy. Nevýhodou je vysoká cena a zvýšené nároky na údržbu.

- *Optický zrážkomer:*

tento typ zrážkomera využíva rozptyl svetla z lasera na padajúcich vodných kvapkách. Každá jedna kvapka je zaznamenaná ako určité množstvo zrážok (*J. A. Nystuen, 1996*). Výsledný úhrn je potom samozrejme úmerný množstvu signálov.

- *Akustický zrážkomer:*

zrejme najzaujímavejší a najprepracovanejší systém merania zrážok. Prístroj je schopný na základe zvuku dopadajúcej kvapky na vodnú hladinu vo vnútri zrážkomera rozoznať veľkosť tejto kvapky. Keďže zvuk každej kvapky o určitej veľkosti je jedinečný, prístroj je schopný toto získané pole zvukov použiť k presnému odhadu distribúcie veľkosti kvapiek počas dažďa (*J. A. Nystuen, 1996*). Na základe toho už nie je problém vyčísliť výsledné intenzity zrážok či celkové úhrny. Nevýhodou akustického a optického zrážkomeru je samozrejme veľmi vysoká cena, navyše v prípade technických porúch je oprava omnoho náročnejšia ako pri povedzme člnkovom zrážkomere.

### 3.3 Meranie zrážok na území ČR

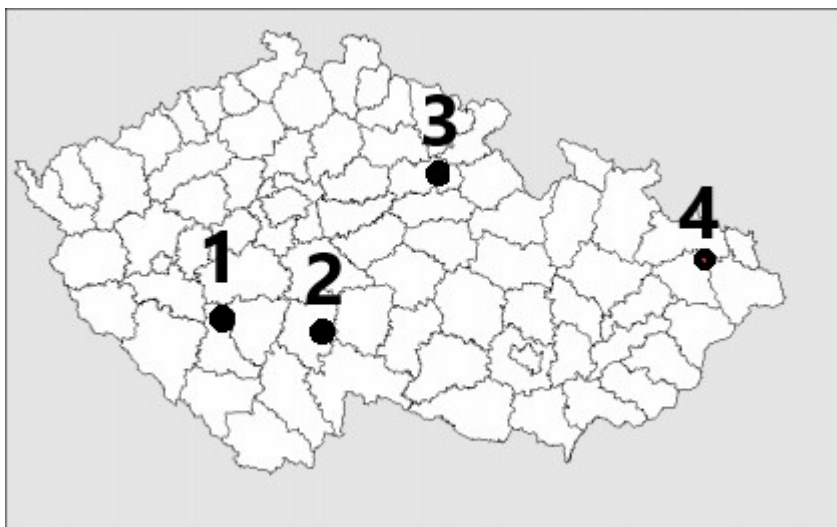
Posledné dva spomenuté typy zrážkomerov sú dosť netradičné a v našej oblasti si zatiaľ miesto príliš nenašli. V staničnej sieti ČHMÚ boli veľmi dlho využívané štandardné manuálne zrážkomery METRA 886, ktoré začali byť okolo roku 1995 (*Kněžínková a kol.*, 2010) nahrádzané automatickými zrážkomermi, a to konkrétne dvoma typmi člnkového zrážkomera a jedným typom váhového zrážkomera. Taktiež hojne užívaným prístrojom na našom území je ombrograf.

Dlho používaný zrážkometer METRA 886 sa vyznačoval pomerne značnými systematickými nepresnosťami. Medzi ne patrí napríklad chyba plynúca z aerodynamického efektu zrážkomera, zmáčania konvice či výparu spadnutej vody. Tieto chyby boli kvantifikované v 80. rokoch 20. storočia a následne boli stanovené vzťahy a metodiky, podľa ktorých sa následne namerané úhrny dodatočne korigovali (*Kněžínková a kol.*, 2010).

Nové člnkové zrážkomery, ktoré zrážkometer METRA 886 nahradzovali, sa vyznačujú trochu iným charakterom nepresnosti. Nepresnosť spôsobovaná aerodynamickým efektom je zhruba rovnaká, avšak zmáčavosť stien zrážkomera je výraznejšia, nakoľko tento zrážkometer sa vyznačuje väčšou plochou vnútorného priestoru. Veľký rozdiel je ale v chybe spojennej s výparom, nakoľko tá sa takmer neprejavuje. Z mechanizmu tohto zrážkomera je jasné, že malá nepresnosť nastane iba vtedy, ak sa v jednej časti člnku nachádza také nenulové množstvo vody, že sa člnok nepreklopí, a tento objem má príležitosť sa vypariť. Avšak s uvažovaním toho, že jedno preklopenie predstavuje 0,1 mm (*Kněžínková a kol.*, 2010), je jasné, že táto nepresnosť bude prakticky zanedbateľná, hlavne v porovnaní so zrážkometerom METRA 886. Na druhej strane, je tu nemalé riziko porúch, prípadne zapchatia zrážkomera nečistotami, čo znamená, že aj keď je zrážkometer automatický, je nutné ho pravidelne kontrolovať.

## 4. Analyzované dáta, popis staníc

Za účelom tejto práce sme od ČHMÚ obdržali dáta zo štyroch staníc uvedených na Obr. 1 a v Tab. 1.



**Obr. 1:** Mapa staníc (Ruda, 2006), ktorých dáta sú analyzované v tejto práci (viď Tab.1).

**Tab.1:** Popis mapy staníc z Obr. 1.

číslo	názov stanice	súradnice	nadmorská výška [m.n.m.]	meranie od/ ombrografom od
1	Kocelovice	49°28' s.š. 13°50' v.d.	519	03.01.1975/01.04.1975
2	Tábor	49°26' s.š. 14°40' v.d.	440	01.01.1875/01.04.1961
3	Hradec Králové, Nový Hradec Králové	50°10' s.š. 15°50' v.d.	278	01.01.1953/01.04.1961
4	Ostrava, Poruba	49°49' s.š. 18°09' v.d.	239	01.01.1968/01.04.1986

Na stanici Kocelovice bolo meranie zrážok od 3.1.1975 do 31.12.1999 realizované ombrografom. Od 1.1.2000 sa na tejto stanici prešlo k automatickému člnkovému zrážkomeru, avšak meranie ombrografom pokračovalo simultánne až do 31.12.2009, čoho využijeme v priamom porovnaní týchto dvoch metód merania

zrážok na tejto stanici. Od 4.6.2010 bol člnkový automatický zrážkometer nahradený váhovým automatickým zrážkometerom.

Zo stanice Tábor sme obdržali dáta z ombrografu za obdobie 1.4.1961 až 30.11.1996, pričom od 1.1.1990 sa stanica presunula (nepatrne) o pár stovák metrov do časti Tábor – Náchod, ktorá leží v nadmorskej výške 459 m.n.m. Automatický člnkový zrážkometer bol na túto stanicu zavedený 7.1.1997, avšak obdržané dáta máme až od 1.1.1999, kedy boli už automatické merania realizované v časti Tábor – Měšice o nadmorskej výške 467 m.n.m. Ku váhovému automatickému zrážkomeru sa na stanici prešlo 18.9.2018.

Na stanici Hradec Králové, časť Nový Hradec Králové započali manuálne merania zrážok ombrografom 1.1.1953, naše obdržané dáta začínajú dňa 1.4.1961. Ombrografom sa na tejto stanici meralo do 31.12.1998, analyzované dáta končia dňa 30.11.1994. Automatickým člnkovým zrážkometerom sa tu začalo merať 1.1.1999, ktorý 26.10.2018 vymenil automatický váhový zrážkometer, avšak až tam naše dáta nesiahajú.

Posledná analyzovaná stanica je Ostrava, časť Poruba. Tu sa ombrografom meralo od 1.1.1968 do 30.11.2004, pričom na tejto stanici sme obdržali najviac oklieštené dáta, nakoľko dáta z miestneho ombrografu máme až od 1.4.1986. Ako kompenzácia nám ale slúži fakt, že dáta z ombrografu a automatického člnkového zrážkomera majú na stanici Poruba časový prekryv, a to konkrétne 7 rokov dlhý, nakoľko člnkovým zrážkometerom sa na stanici meria už od 1.1.1998. Tento spôsob merania pretrváva na stanici do dnešných dní.

Dáta z ombrografu predstavujú úhrny za posledných 10 minút k danému časovému údaju, teda napríklad úhrn k 9:00 predstavuje úhrn zrážok v časovom intervale 8:50-9:00. V dátach z automatických zrážkometerov sa jedná najprv o 15-minútové dáta, neskôr o dáta 10-minútové, taktiež v zmysle predošlých 15 resp. 10 minút, rovnako ako v prípade ombrografu.

Napokon sme obdržali ešte súhrnné dáta denných zrážkových úhrnov, ktoré prešli kontrolou kvality. S týmito dátami budeme úplne na začiatku analýzy dát porovnávať vyčíslené denné úhrny zrážok z ombrografu.

Je nutné dodať, že porovnávanie ombrografu so zrážkometerom je relevantné len v období apríl-október, nakoľko ombrograf nie je schopný merať tuhé zrážky.



## 5. Analýza dát

Pre analýzu relatívne objemných dát je vhodné pracovať v prostredí, ktoré umožňuje jednoduchú manipuláciu s dátami, ich štatistickú analýzu a grafické zobrazenie. Tieto atribúty spĺňa napríklad program R, ktorý poskytuje množstvo štatistických a grafických techník, napríklad klasické štatistické testy, modelovanie, zhľukovanie či analýzu časových radov (<https://www.r-project.org/>). Preto boli všetky výpočty a analýza dát v tejto práci prevedené práve v programe R.

### 5.1. Kontrola dát z ombrografu

Na úvod analýzy dát boli porovnávané vyčíslené denné úhrny zrážok z ombrografu s už skontrolovanými dennými dátami, ktoré sme obdržali od ČHMÚ. Bolo vybraných 5 mesiacov roka, konkrétne máj, jún, júl, august a september, nakoľko v apríli a októbri boli merania ombrografu obmedzené, najmä občasným výskytom tuhých zrážok.

Kvalita dát zo staníc Kocelovice, Tábor a Hradec Králové bola pomerne uspokojivá. Zo všetkých porovnaných dní bolo zastúpenie denných diferencií mimo interval  $(-0,5 \text{ mm}, 0,5 \text{ mm})$  na stanici Kocelovice 3,9%, v Tábore to predstavuje 3,5%, a napokon v Hradci Králové ležalo 4,1% dní mimo tento interval diferencií, viď Tab.2. Po obmedzení sa na interval mimo  $(-1 \text{ mm}, 1 \text{ mm})$  šli hodnoty pod 1%, Kocelovice 0,8%, Tábor 0,7% a Hradec Králové 0,9%. Navyše, z týchto hodnôt predstavovala veľká časť výpadky merania ombrografu. V prípade, že sa nejednalo o výpadok, šlo zväčša o intenzívne zrážky nad 10 mm. Keď vylúčime tieto prípady, počet dní s diferenciou väčšou ako  $\pm 1 \text{ mm}$  bol na týchto staniciach minimálny (2-6).

Najhoršiou kvalitou dát z ombrografu disponuje stanica Ostrava – Poruba (viď. Tab.2). Až 8,1% všetkých denných diferencií leží mimo interval  $(-0,5 \text{ mm}, 0,5 \text{ mm})$  a 3,1% leží mimo interval  $(-1 \text{ mm}, 1 \text{ mm})$ . Avšak aj tu predstavujú drvivú väčšinu (68%) týchto veľkých rozdielov denné úhrny nad 10 mm. 10% hodnôt má na svedomí výpadok merania. Zvyšné hodnoty predstavujú 19 dní s neznámymi príčinami veľkej odchýlky denného úhrnu zrážok od referenčných denných dát,

zatiaľčo u zvyšných staníc šlo o 2-6 dní. 15 z týchto 19 dní má odchýlky do 2,0 mm, 3 dni majú odchýlku okolo 3 mm a jeden deň, konkrétne 13.05.1995 disponuje diferenciou 13,5 mm, čo je zrejmá chybná hodnota. Dáta z ombrografu teda možno považovať z tejto stanice za najmenej spoľahlivé v porovnaní s ostatnými stanicami.

**Tab.2:** *Výsledky kontroly dát ombrografu.*

stanica	porovnané dni	počet dní s rozdielom väčším ako $ \pm 0,5 \text{ mm} $ (%)	počet dní s rozdielom väčším ako $ \pm 1,0 \text{ mm} $ (%)	z toho úhrny nad 10 mm na ombrografe (%)
Kocelovice	5355	207 (3,9)	43 (0,8)	31 (72)
Tábor	5508	192 (3,5)	41 (0,7)	35 (85)
Hradec Králové	5049	206 (4,1)	46 (0,9)	12 (26)
Ostrava-Poruba	2907	237 (8,1)	89 (3,1)	61 (68)

## 5.2. Prekryv ombrograf – automat

Časový prekryv týchto dvoch meracích techník nastal na stanici Kocelovice v období 1.1.2000 – 31.13.2009, na stanici Ostrava – Poruba od 1.1.1998 do 30.11.2004. V prípade stanice Kocelovice sa teda jedná o 10 celých sezón, v Ostrave -Porube to predstavuje 7 sezón.

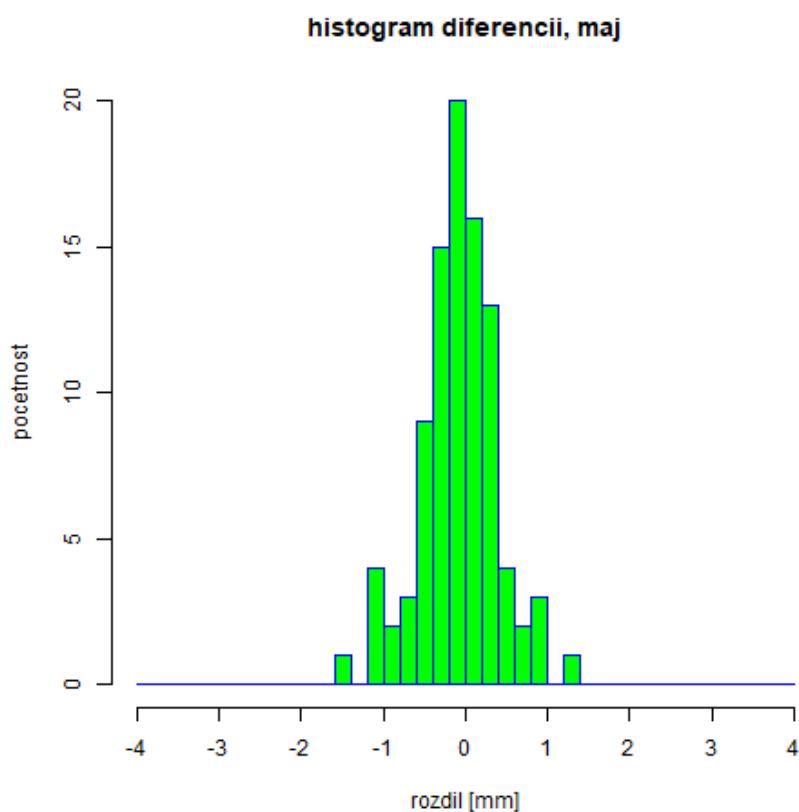
### 5.2.1 Denné úhrny

Pre analýzu denných úhrnov zrážok boli vyčíslené denné súčty krátkodobých úhrnov zrážok a vykreslené histogramy týchto denných úhrnov. Prvá časť tejto podkapitoly sa bude venovať priamemu porovnaniu rozdelení denných úhrnov zrážok z ombrografu a automatiky za toto identické obdobie. Druhá časť bude o porovnaní hodinových úhrnov zrážok.

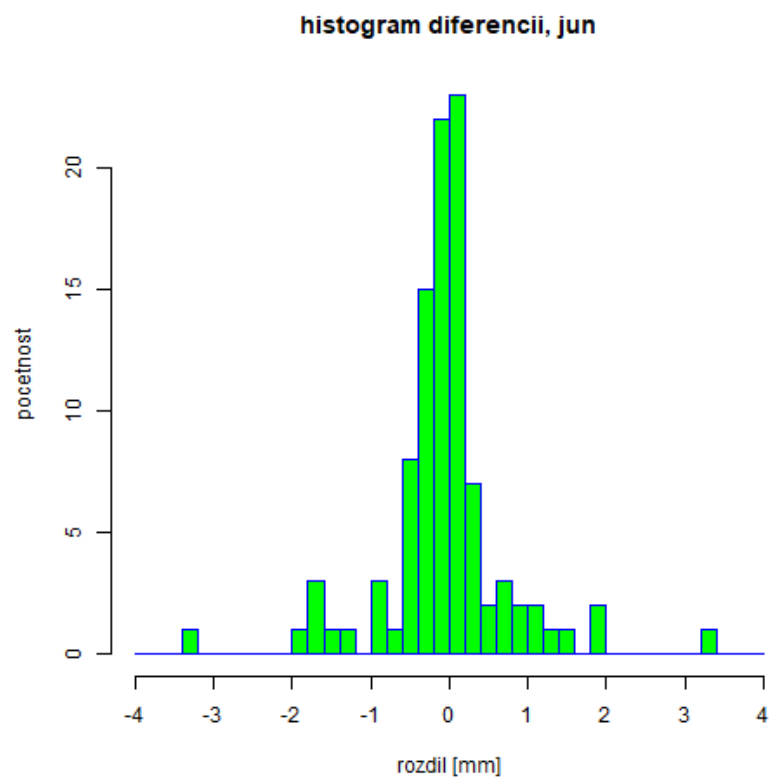
Je vhodné dodať, že denné úhrny nie sú počítané od polnoci do polnoci, ale jedná sa o interval 07-07.

Na nasledujúcich obrázkoch sú vykreslené histogramy nenulových diferencií denných úhrnov zrážok medzi ombrografom a automatickým zrážkomerom. Nulové diferencie predstavujú zhruba 60% všetkých hodnôt, tieto dáta neboli brané do úvahy. Zrážkomer je odčítavaný od ombrografu, teda kladné hodnoty znamenajú vyšší denný úhrn na ombrografe. Extrémne hodnoty diferencií nie sú v histogramoch z grafických dôvodov vykreslované, ale nižšie sú slovne okomentované či odôvodnené. Šírka binov v histogramoch predstavuje 0,2 mm pre Ostravu-Porubu, 0,5 mm pre Kocelovice. Nakoľko sú rozdiely na stanici Kocelovice väčšie, tak sú biny volené širšie, aby boli grafy prehľadnejšie.

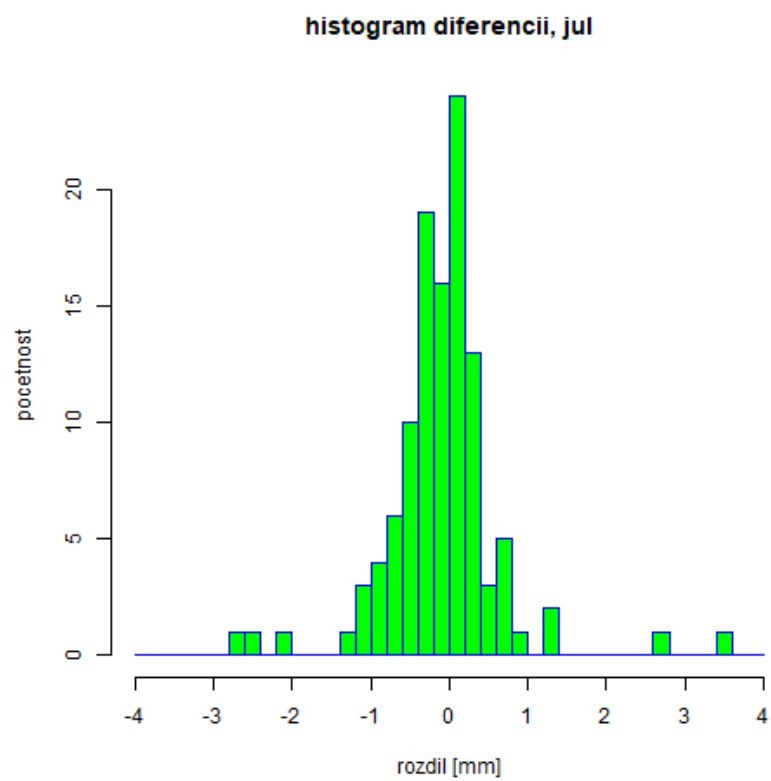
### 5.2.1.1 Ostrava – Poruba



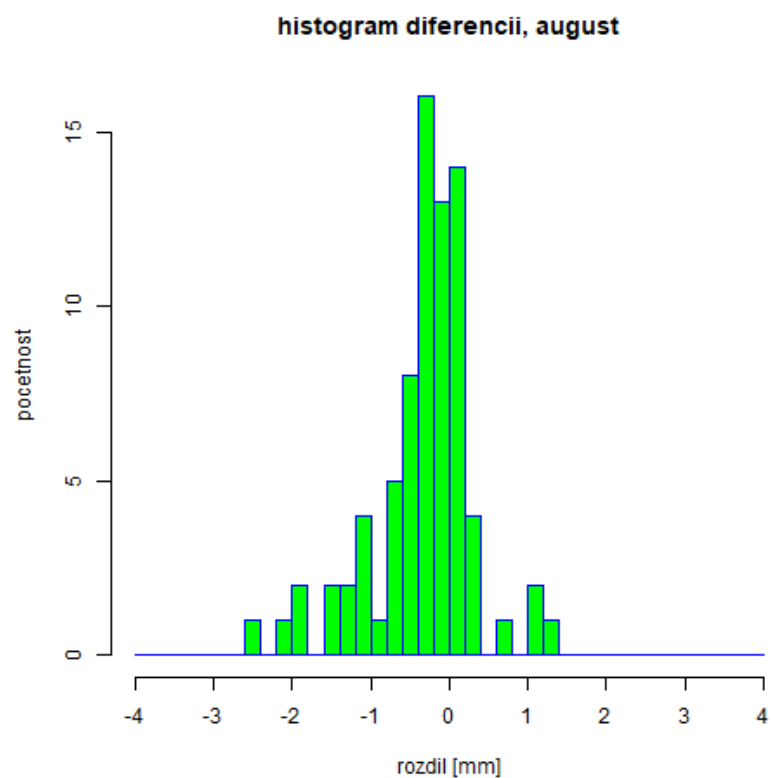
**Obr. 2:** Histogram diferencií denných úhrnov v milimetroch. Diferencie sú počítané ako rozdiel ombrograf mínus zrážkomer. Mesiac máj, Ostrava – Poruba, obdobie 1998-2004.



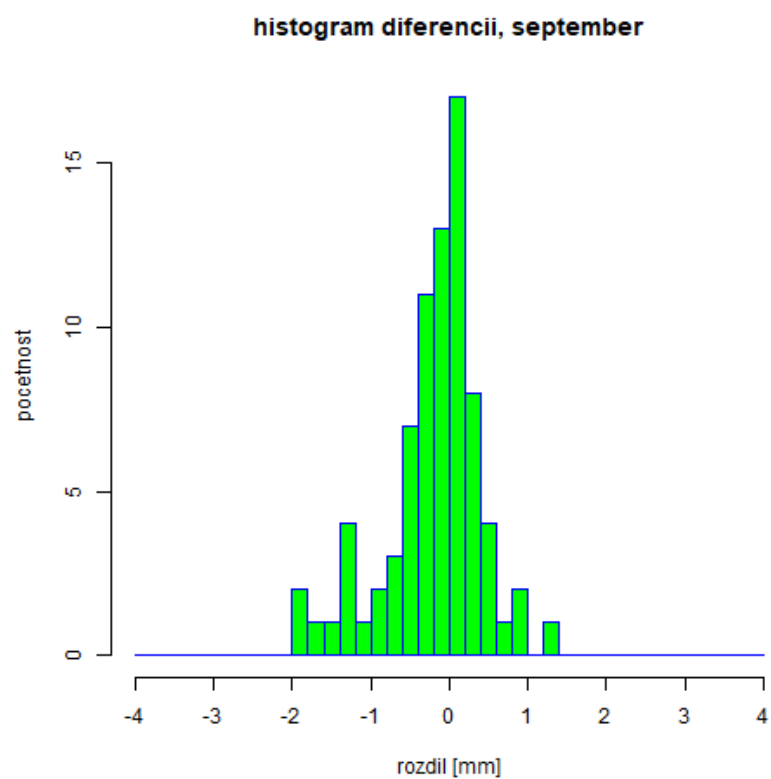
**Obr. 3:** Rovnako ako obr. 2, ale pre mesiac jún.



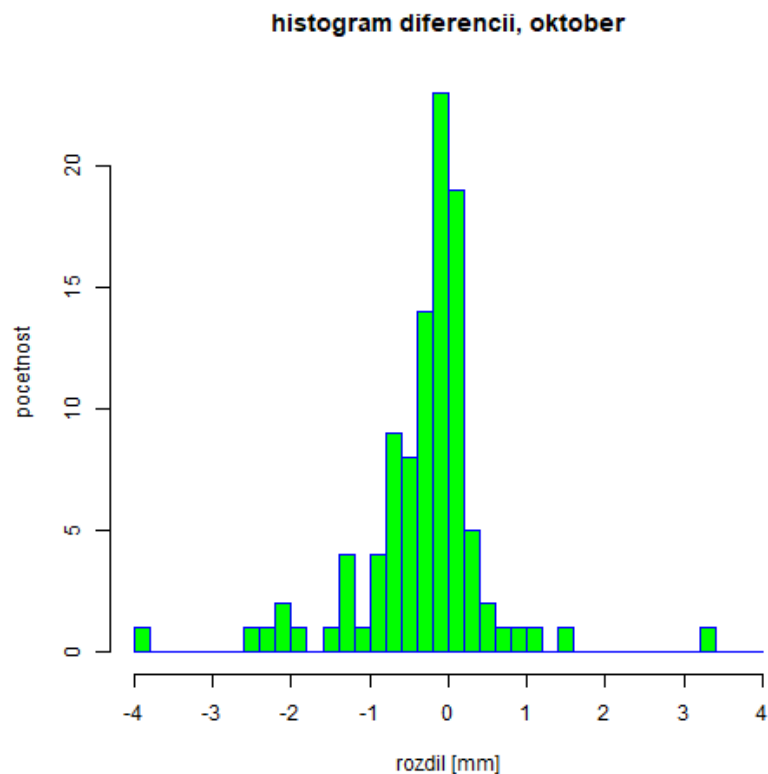
**Obr. 4:** Rovnako ako obr. 2, ale pre mesiac júl.



**Obr. 5:** Rovnako ako obr. 2, ale pre mesiac august.



**Obr. 6:** Rovnako ako obr. 2, ale pre mesiac september.



**Obr. 7:** Rovnako ako obr. 2, ale pre mesiac október.

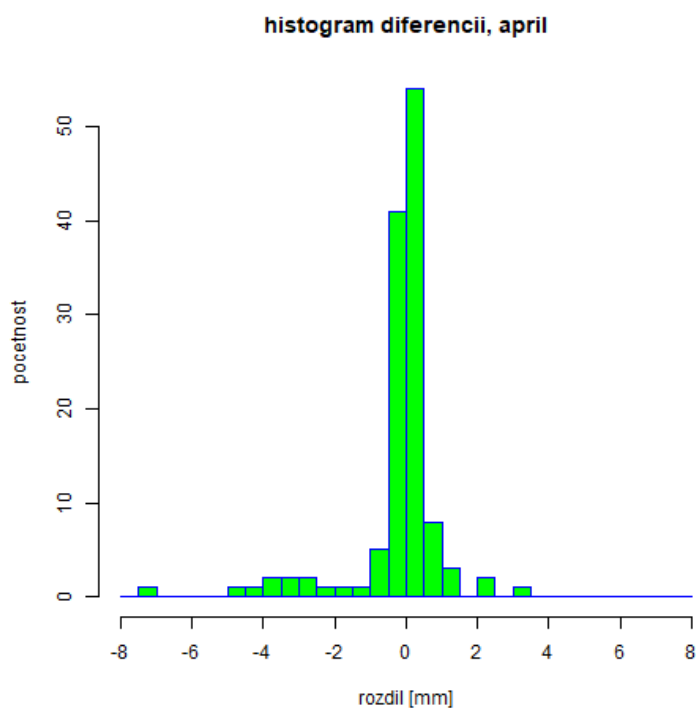
Mesiac apríl neuvažujeme, nakoľko v tomto mesiaci sa na stanici ombrografom väčšinou nemeralo. Čo sa týka priblíženia výraznejších denných diferencii, mimo interval  $(-1 \text{ mm}, 1 \text{ mm})$ , mnoho z nich sa vyskytlo v dňoch, kedy bol denný úhrn na ombrografe  $0.0 \text{ mm}$ . Väčšina z týchto prípadov sa vyskytla v mesiaci október (viď. obr. 7), čo je pravdepodobne spôsobené tuhými zrážkami, ktoré sa už v októbri môžu objaviť. Avšak niektoré dni s veľkou diferenciou a nulovým úhrnom na ombrografe sa našlo aj mimo obdobia potenciálneho sneženia. Konkrétne ide o dni 29.-

31.8.1998, kedy automatický zrážkomer nameral postupne  $1.9$ ,  $8.2$  a  $17.9 \text{ mm}$  zrážok. Je teda zrejmé, že ombrograf mal v týchto dňoch pravdepodobne poruchu a bol dočasne odstavený. Po odstránení týchto irelevantných diferencii zostalo za týchto 7 sezón 56 denných diferencii (10% všetkých diferencii) mimo interval  $(-1 \text{ mm}, 1 \text{ mm})$ . Podstatný je fakt, že až 35 z nich je záporných a iba 21 kladných, čo znamená, že všeobecne prevažuje prípad, kedy ombrograf nameral nižší denný úhrn ako automatický zrážkomer. Keď sa však obmedzíme na diferencie väčšie ako  $2 \text{ mm}$  (v absolútnej hodnote), tak mierne prevažujú kladné hodnoty, čo sa dá pripisovať

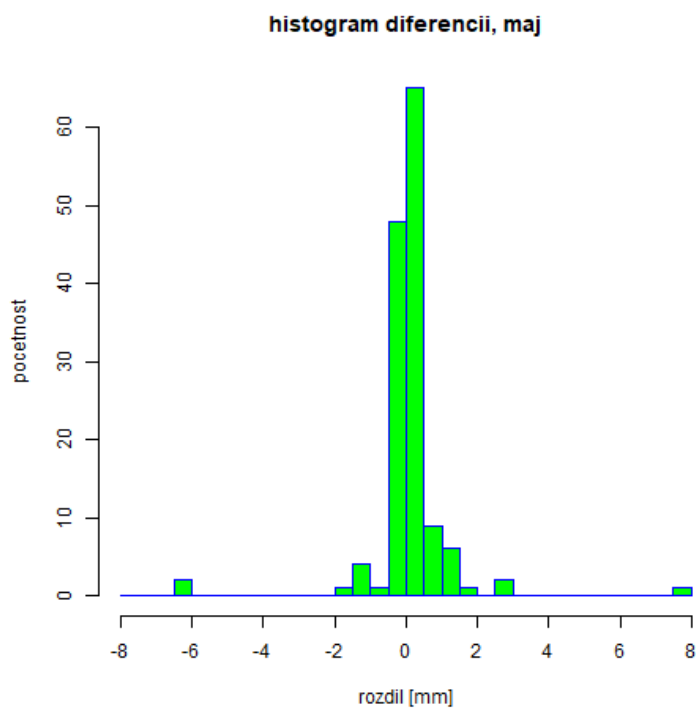
tomu, že automatický člnkový zrážkomer pri prudkých intenzitách zrážok úhrn podhodnocuje. Maximálnu diferenciu predstavuje hodnota 12,9 mm dňa 13.7.1999, kedy ombrograf zaznamenal 29.1 mm a zrážkomer 16.2 mm. Po detailnom skontrolovaní tohto dňa v dátach je zrejmé, že sa jedná o hrubú chybu merania automatického zrážkomera, nakoľko ombrograf zaznamenal merateľné zrážky v intervale 18:50 – 23:00, pričom 10-minútové úhrny boli pomerne rovnomerné, zatiaľčo zrážkomer zaznamenal merateľné zrážky len v intervale 18:45-19:45, pričom v poslednom merateľnom intervale (19:45) spadlo až 10.0 mm zrážok. Je teda pravdepodobné, že šlo o poruchu zrážkomera. Mimo tejto zjavne chybnej hodnoty dosahujú najvyššie hodnoty dennej diferencie 3.0 – 3.5 mm.

Na obrázkoch 2-7 nie je zobrazených 5 hodnôt, 2 chýbajú za mesiac júl (obr. 4), 2 za august (obr. 5) a jedna za október (obr. 7). Hodnoty týchto diferencii sú všetky záporné v intervale -5,6 - -17,9 a všetky sa dajú pripísať výpadku merania na ombrografe. Z celkového počtu denných diferencii bolo 48% nenulových. Z týchto nenulových diferencii bolo 68% v absolútnej hodnote nižších ako +/- 0,5 mm, 85% bolo nižších ako v absolútnej hodnote +/- 1,0 mm, 96% bolo nižších ako v absolútnej hodnote +/- 2,0 mm a 97,8% bolo nižších ako v absolútnej hodnote +/- 3,0 mm.

### 5.2.1.2 Kocelovice

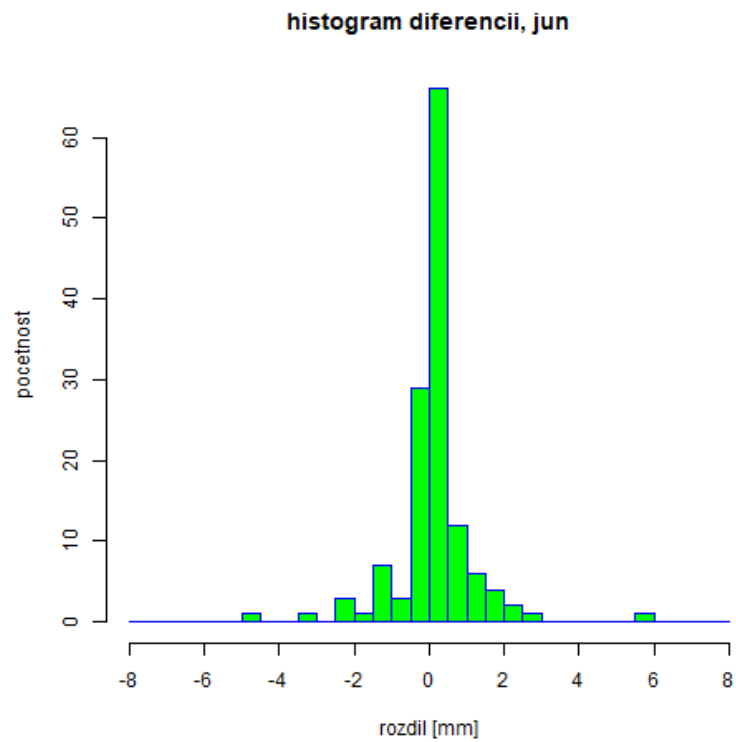


**Obr. 8:** Histogram diferencii denných úhrnov v milimetroch. Diferencie sú počítané ako rozdiel ombrograf mínus zrážkomer. Mesiac apríl, Kocelovice, obdobie 2000-2009.

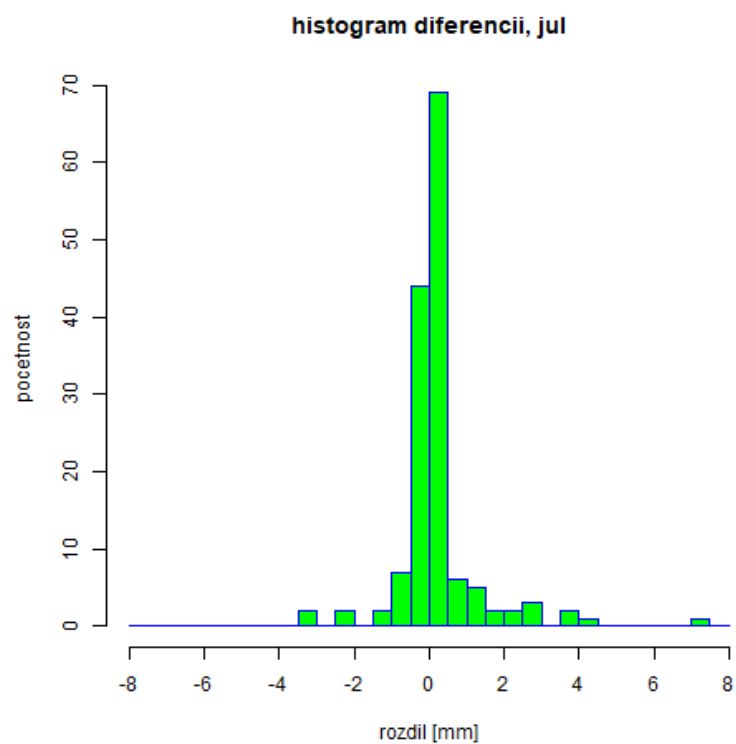


**Obr. 9:** Rovnako ako obr. 8, ale pre mesiac máj.

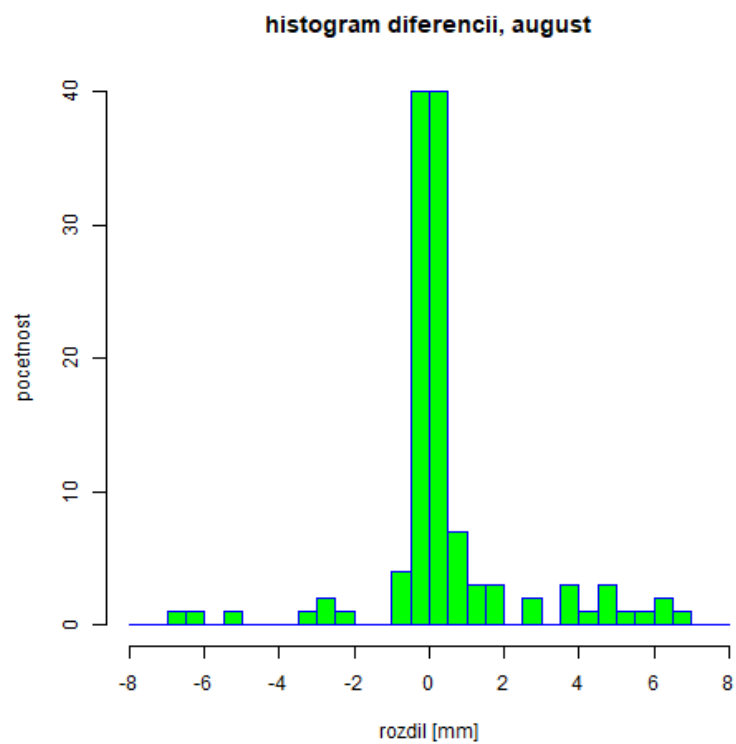




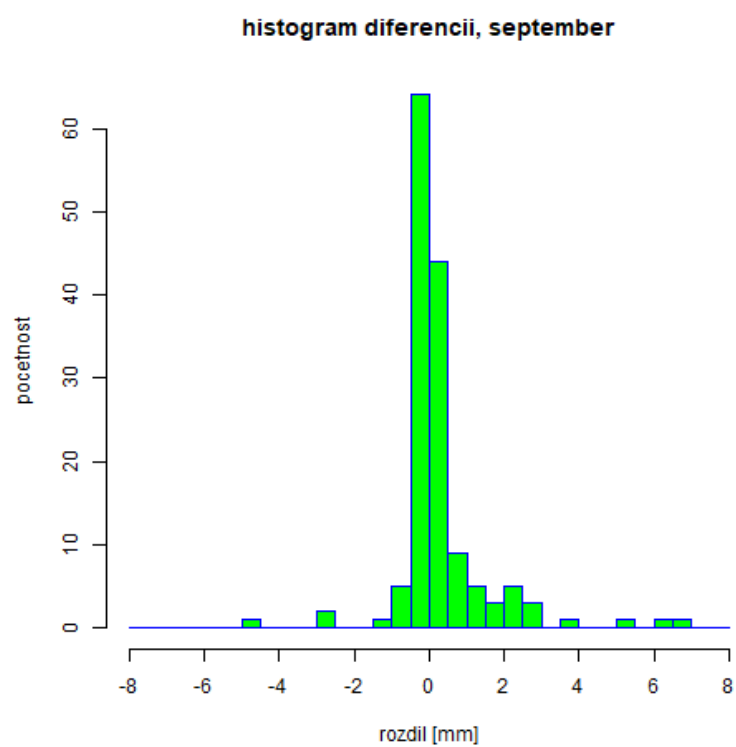
**Obr. 10:** Rovnako ako obr. 8, ale pre mesiac jún.



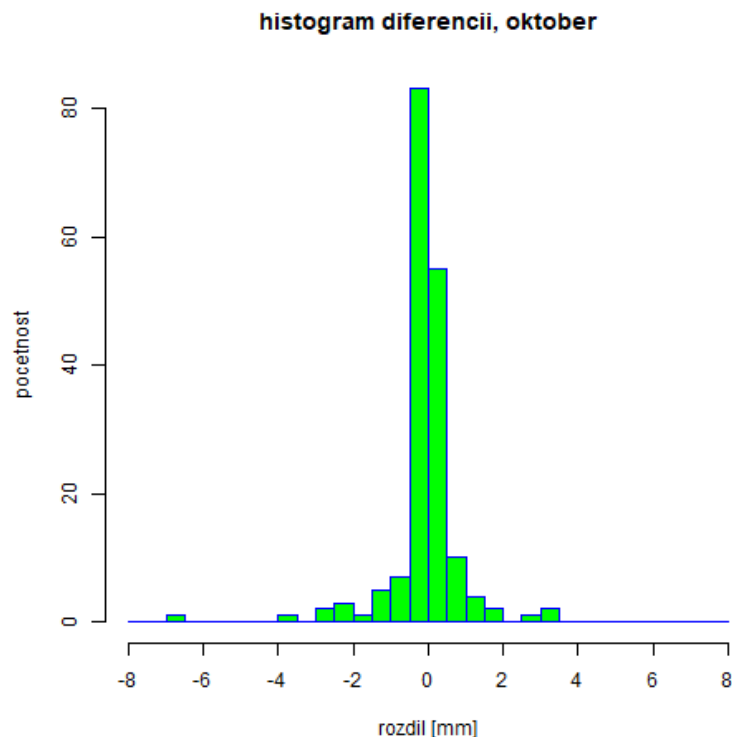
**Obr. 11:** Rovnako ako obr. 8, ale pre mesiac júl.



**Obr. 12:** Rovnako ako obr. 8, ale pre mesiac august.



**Obr. 13:** Rovnako ako obr. 8, ale pre mesiac september.



**Obr. 14:** Rovnako ako obr. 8, ale pre mesiac október.

Keďže štatistický súbor je pri stanici Kocelovce podstatne väčší, je užitočné sa pozrieť na viaceré charakteristiky nenulových denných diferencii. Bez akéhokoľvek číselného obmedzenia diferencii je jasne vidno, že ombrograf za automatickým zrážkomerom výrazne zaostáva pri veľmi nízkych denných úhrnoch. To dokumentuje nasledovná stručná štatistika – celkový počet dní s nenulovou diferenciou je 1021 (48% zo všetkých), z čoho 24,3% diferencii (248) predstavujú dni, kedy ombrograf nameral 0.0 mm. Z týchto 248 dní je však až 86% (213 dní) takých, kedy zrážkomer nameral denný úhrn 0.1 – 0.5 mm. *Teda takmer štvrtinu všetkých nenulových diferencii predstavujú dni, kedy ombrograf nebol schopný namerať denné úhrny blízke 0 mm.*

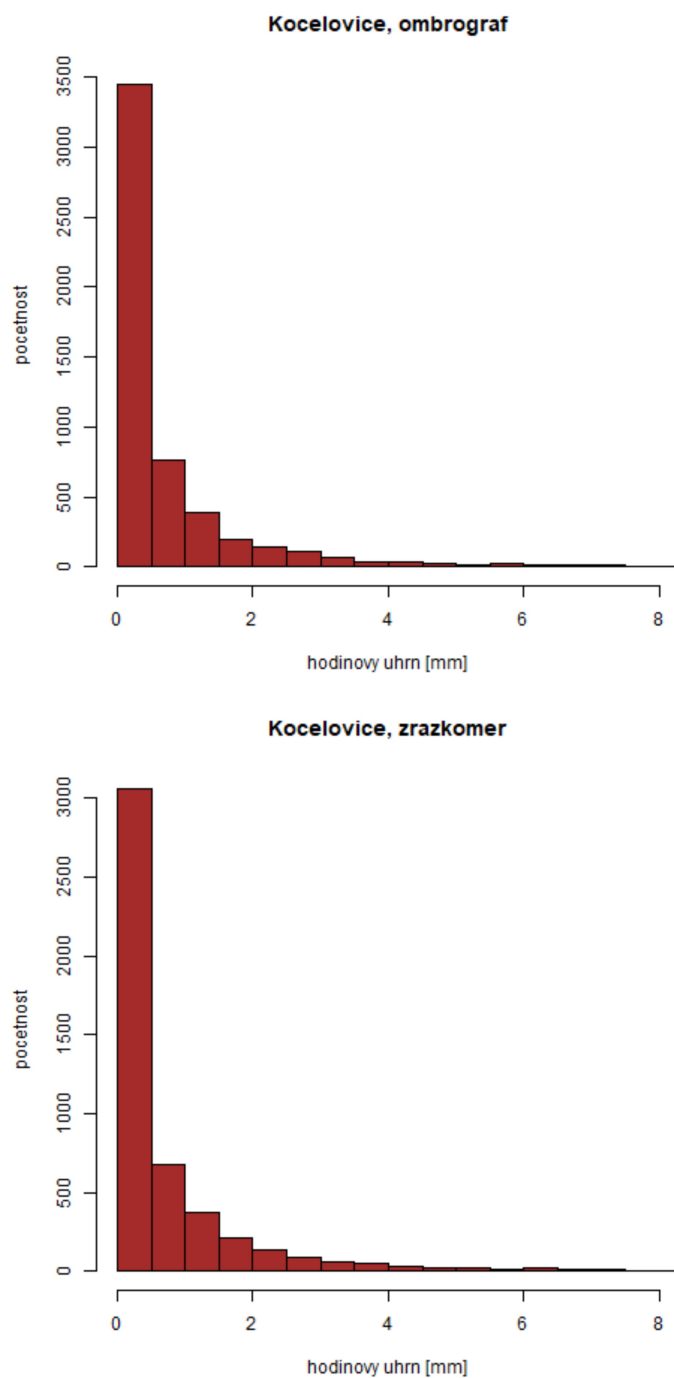
Z obrázkov 8-14 je vidno, že v mesiacoch s častým výskytom prehánok a búrok (máj-september) výrazne prevažujú kladné diferencie, kedy automatický zrážkomer zaostáva za ombrografom. Naopak v mesiacoch apríl a október (viď. obr. 8 a 14) sú diferencie rovnomernejšie rozložené v oboch poloosách. Diferencii mimo interval (-1 mm, 1 mm) je 178 (17,4% všetkých). Z týchto 178 diferencii je 63 (35%)

irelevantných, nakoľko ide o dni, kedy buď ombrograf alebo zrážkomer nameral 0.0 mm, teda jedná sa o chybné diferencie spôsobené hrubou chybou merania – napríklad porucha, upchatie zrážkomera lístím a pod. Avšak aj po odstránení týchto chybných hodnôt sa v diferenciách našlo mnoho ďalších podozrivých hodnôt, ktoré predstavujú diferencie  $\pm 10$  a viac mm. Keď sa bližšie pozrieme na tieto veľké rozdiely, aj tu možno konštatovať, že ide o poruchu merania buď ombrografu alebo zrážkomera, nakoľko väčšina z týchto prípadov predstavuje úhrny na jednej strane napríklad 2-3 mm, na druhej strane 20-30 mm. Po odstránení týchto hodnôt dostávame 105 hodnôt, ktoré ale vykazujú pomerne jasný charakter, a síce, 70 hodnôt (67%) je kladných, a len 35 (33%) záporných. Tento fakt potvrdzuje predpoklad, že automatický člnkový zrážkomer podhodnocuje úhrn pri intenzívnych zrážkach. To dokumentuje nasledovné – priemerný denný úhrn nameraný ombrografom pre dni so zápornou diferenciou predstavuje 6,8 mm, zatiaľčo pre dni s kladnou diferenciou predstavuje priemerný denný úhrn až 14,6 mm. *Z toho plynie, že na stanici Kocelovice automatický člnkový zrážkomer vykazuje jednoznačný charakter podhodnocovania zrážkového úhrnu pri intenzívnych zrážkach.*

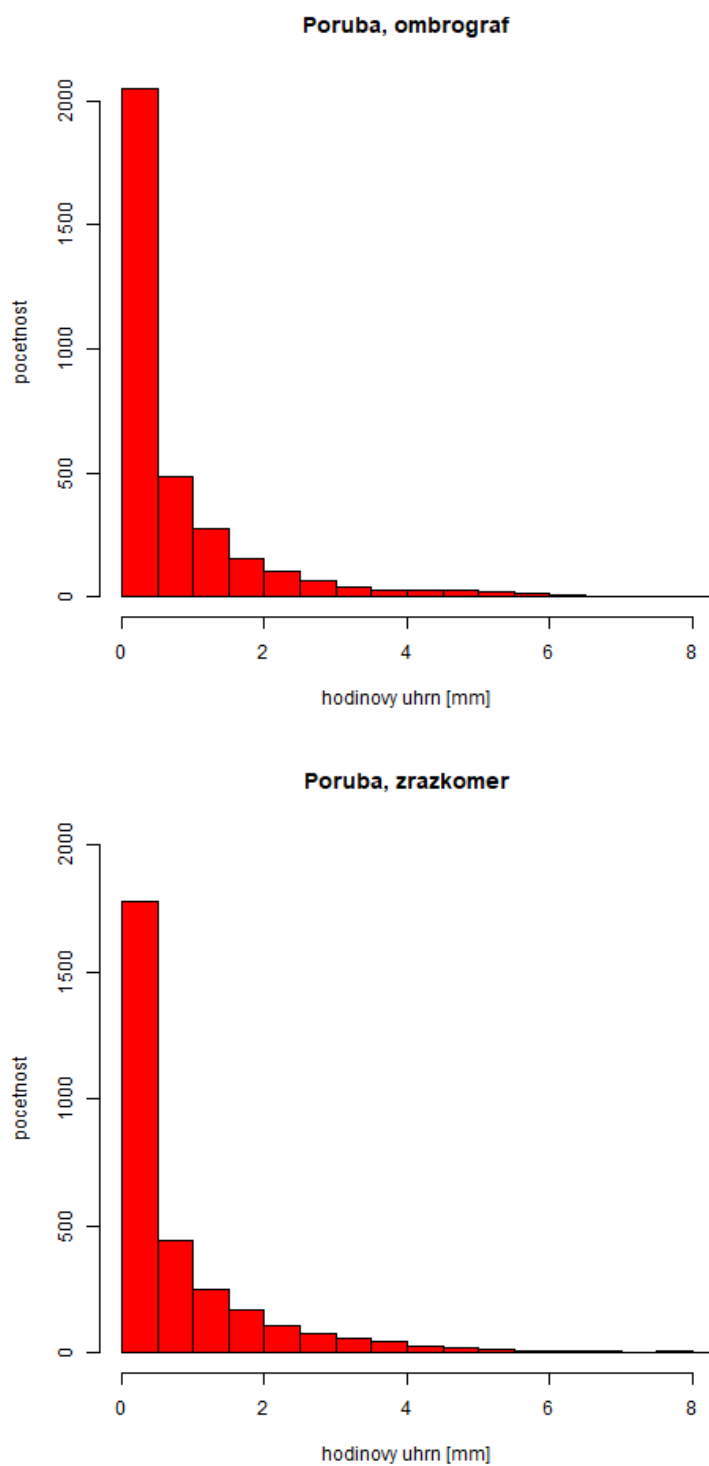
Z nenulových diferencii bolo v absolútnej hodnote nižších ako  $\pm 0,5$  mm 70%, 81% bolo v absolútnej hodnote nižších ako  $\pm 1,0$  mm, 88,5% bolo v absolútnej hodnote nižších ako  $\pm 2,0$  mm a 92,8% bolo v absolútnej hodnote nižších ako  $\pm 3,0$  mm.

### 5.2.2 Hodinové úhrny zrážok

V ďalšom kroku analýzy obdobia súbežných meraní sme sa zamerali na štatistické rozdelenie hodinových úhrnov zrážok. Na nasledujúcich obrázkoch 15 a 16 sú vykreslené histogramy hodinových úhrnov pre ombrograf a zrážkomer.



**Obr. 15:** Porovnanie štatistického rozdelenia hodinových úhrnov (mm) na stanici Kocelovice medzi dátami nameranými ombrografom (hore) a automatickým zrážkomerom (dole) pre obdobie 2000-2009.



**Obr. 16:** Rovnako ako na obr. 15, ale na stanici Ostrava-Poruba pre obdobie 1998-2004.

Je zrejmé, že ombrograf má na oboch staniciach viac hodinových úhrnov v intervale 0-0,5 mm (obr. 15,16). Zaujímavosťou ale je, že taktiež na oboch staniciach má zrážkomer podstatne viac hodín s úhrnom 0,1 mm ako ombrograf (neukázané). To znamená, že na ombrografe výrazne prevyšujú hodinové úhrny v intervale 0,2 – 0,5 mm. Avšak prevaha úhrnov 0,1 mm na zrážkomere stále zodpovedá menej citlivému nábehu merania na ombrografe.

Ďalej, hodinové úhrny v intervale 2-4 mm sú prakticky vyrovnané, mierne viac ich zaznamenal zrážkomer, avšak rozdiel je v porovnaní s veľkosťou štatistického súboru zanedbateľný.

Čo ale potvrdzuje hypotézu z predošlej podkapitoly je fakt, že úhrnov nad 4 mm má na oboch staniciach viac ombrograf, na stanici Kocelovice rozdiel veľký nie je, ale na stanici Ostrava-Poruba sa jedná o dosť podstatný rozdiel, zrážkomer zaznamenal hodín s takýmto úhrnom 113, zatiaľčo ombrograf až 140.

## 5.3 Porovnanie období pred/po automatizácii

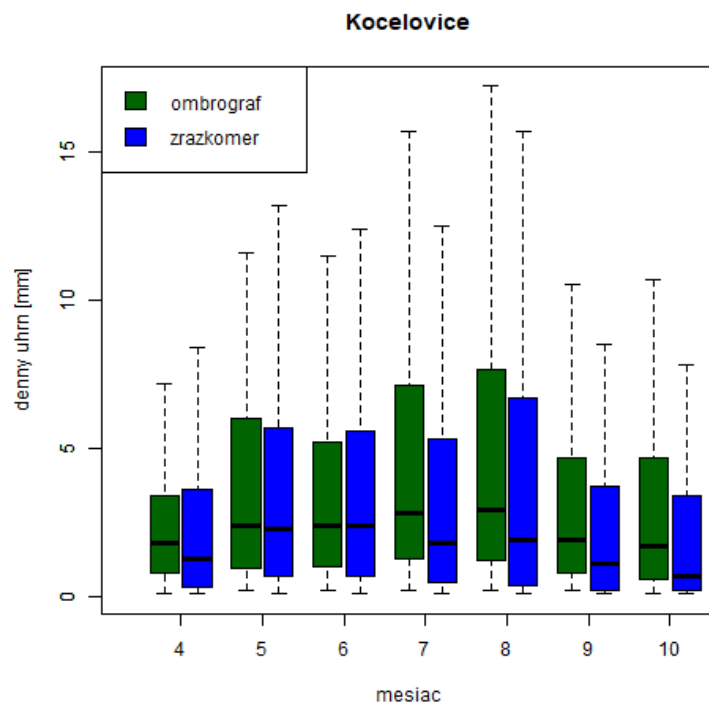
Pre porovnanie obdobia pred automatizáciou a po nej boli zo všetkých staníc vybrané rovnako dlhé úseky dát z ombrografu a z automatického člnkového zrážkomera. Porovnávané obdobia sú limitované dĺžkou merania automatických zrážkomerov, iba v prípade stanice Ostrava – Poruba bol limit stanovený z dôvodu krátkych dát z ombrografu. V prípade stanice Kocelovice sú porovnávané dva 18 rokov dlhé úseky, konkrétne obdobia 1982-1999 a 2000-2017. Na stanici Tábor sa jedná o 19-ročné úseky, a to 1978-1996 a 1999-2017. Hradec Králové disponuje takisto 19-ročnými obdobiami 1975-1994 a 1999-2017, pričom v roku 1987 sa na tejto stanici ombrografom nemeralo, preto interval pre ombrograf predstavuje až 20 rokov. Na stanici Ostrava – Poruba predstavujú porovnávané úseky len 12 rokov, a to 1986-1997 a 1998-2009. Zo staníc Tábor a Hradec Králové sme obdržali dáta, v ktorých je medzi meraniami ombrografom a automatickým zrážkomerom 2, resp. 4-ročná pauza.

### 5.3.1 Denné úhrny zrážok

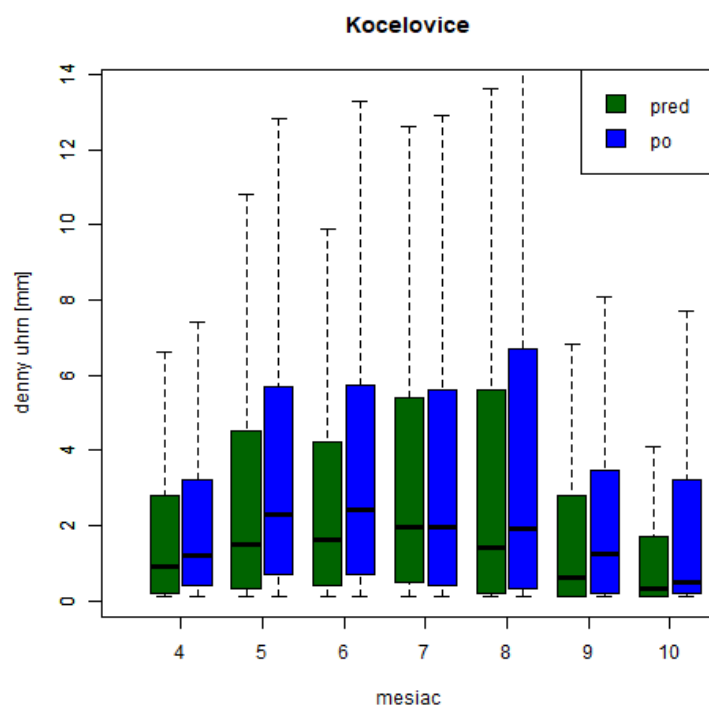
Prvý krok analýzy obdobia pred a po automatizácii sa venuje porovnaniu štatistického rozdelenia denných úhrnov zrážok. Ako veľmi vhodná a názorná grafická metóda na zobrazenie tejto charakteristiky zrážok sa javí boxplot. Hranice každého boxplotu predstavujú dolný a horný kvartil ( $Q_1$ ,  $Q_3$ ), horizontálna čiara označuje polohu mediánu a rozpätia značené prerušovanými čiarami sú dané násobkom medzikvartilového rozpätia (IQR), konkrétne  $\pm (1,5 \cdot \text{IQR})$  (Kabacoff, 2011).

Aby sme vedeli určiť rozdiel v meraní ombrografom a automatickým zrážkomerom, je nutné z týchto dát akosi vyseparovať klimatické vplyvy, teda je vhodné sa pozrieť na rozdelenie zrážkových úhrnov týchto dvoch období ako takých. Na to sú vhodné vyššie spomínané skontrolované klimatické denné dáta, s ktorými sme v podkapitole 5.1 porovnávali meranie ombrografu.

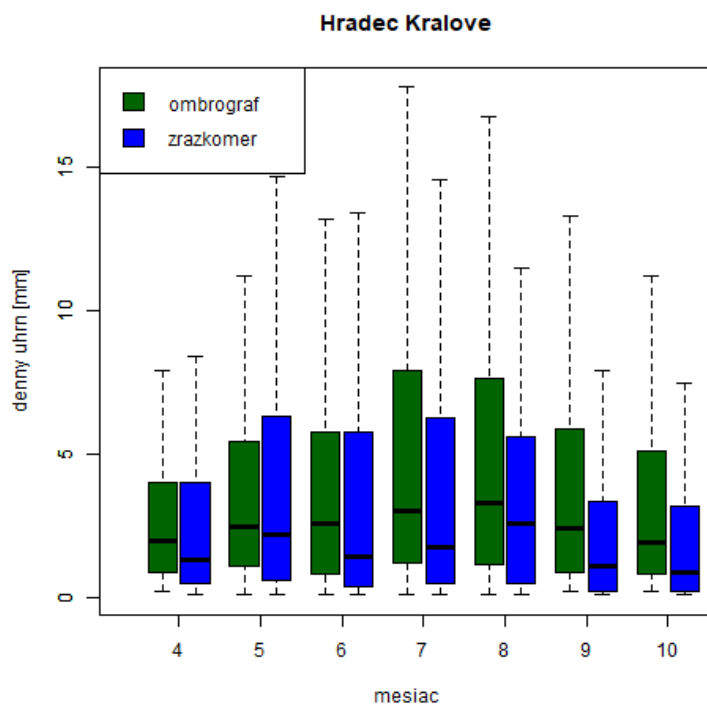




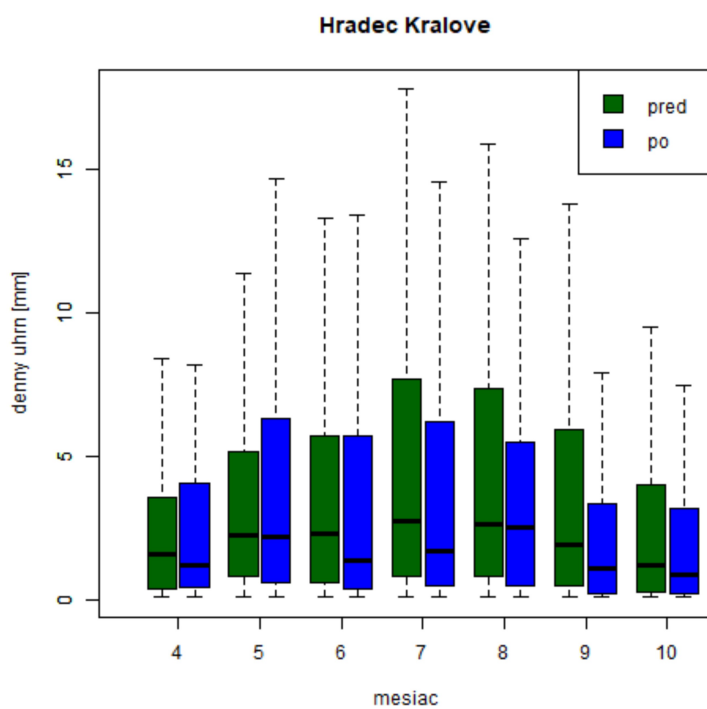
**Obr. 17:** Boxploty denných úhrnov zrážok v milimetroch pre jednotlivé mesiace, zelená: ombrograf, modrá: zrážkomer. Kocelovice – obdobia 1982-1999/2000-2017.



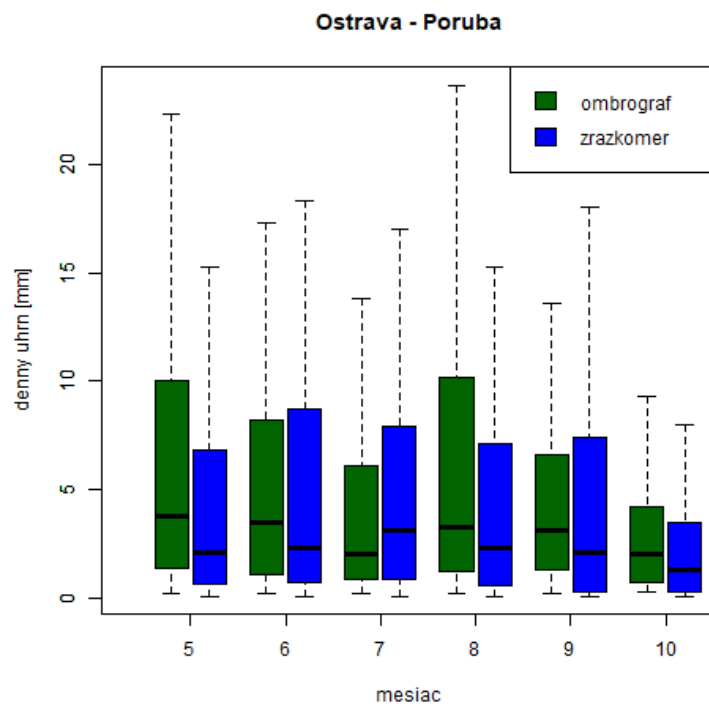
**Obr. 18:** Boxploty skontrolovaných klimatických denných úhrnov zrážok v milimetroch pre jednotlivé mesiace, zelená: obdobie pred automatizáciou, modrá: obdobie po automatizácii. Kocelovice – obdobia 1982-1999/2000-2017.



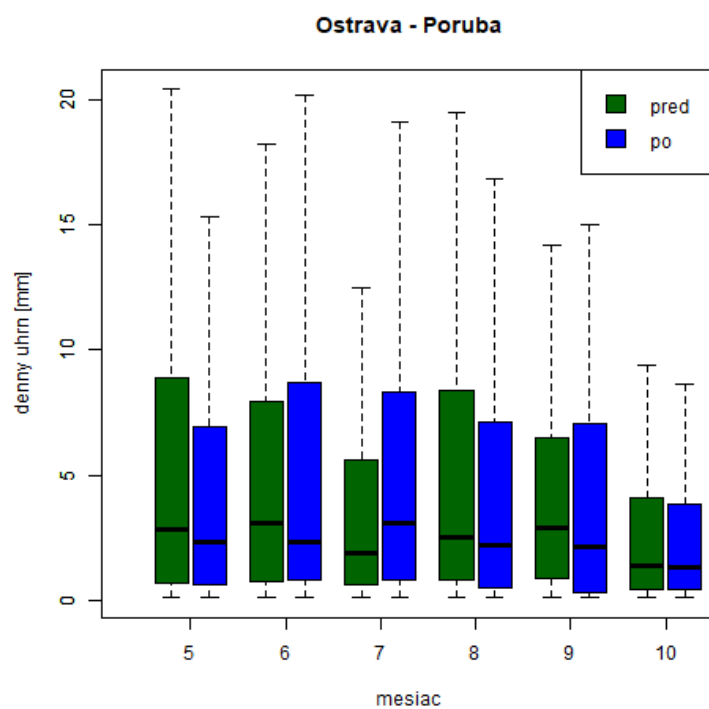
**Obr. 19:** Rovnako ako obr. 17, ale pre Hradec Králové – obdobia 1975-1994/1999-2017.



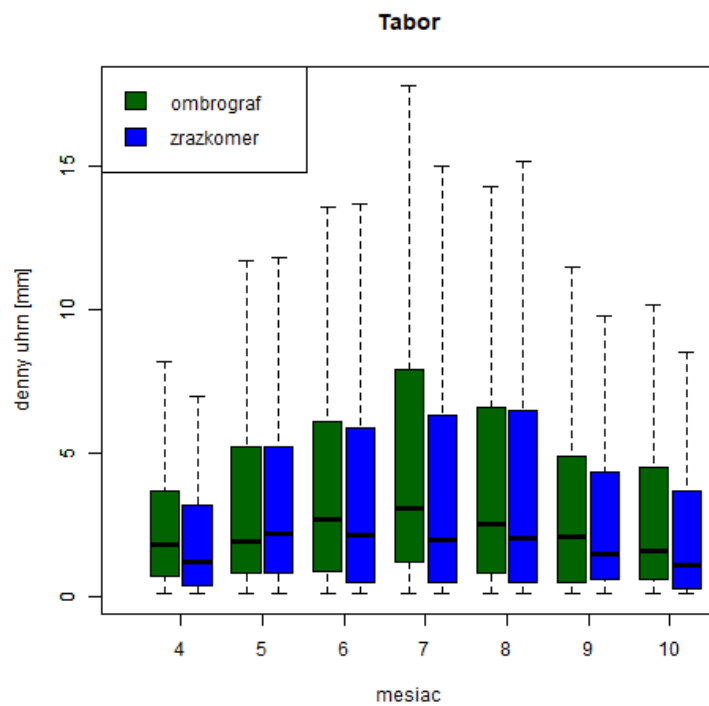
**Obr. 20:** Rovnako ako obr. 18, ale pre Hradec Králové – obdobia 1975-1994/1999-2017.



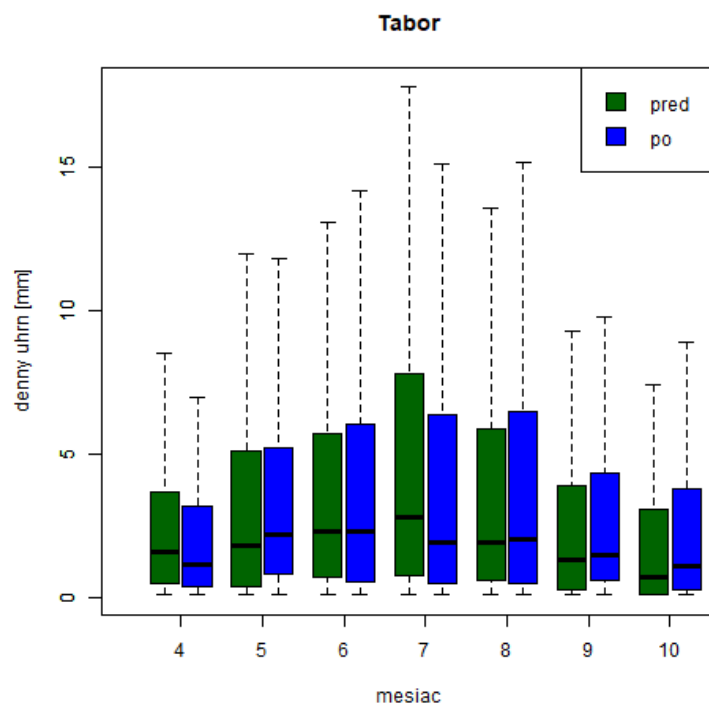
**Obr. 21:** Rovnako ako obr. 17, ale pre Ostravu-Porubu – obdobia 1986-1997/1998-2009.



**Obr. 22:** Rovnako ako obr. 18, ale pre Ostravu-Porubu – obdobia 1986-1997/1998-2009.



**Obr. 23:** Rovnako ako obr. 17, ale pre Tabor – obdobia 1978-1996/1999-2017.



**Obr. 24:** Rovnako ako obr. 18, ale pre Tabor – obdobia 1978-1996/1999-2017.

Jednou zo základných charakteristík štatistického súboru je medián. Bola zostavená tabuľka pre každú stanicu, v ktorej sa nachádzajú mediány pre jednotlivé mesiace pre porovnanie dvoch období v referenčných klimatických dátach a pre porovnanie ombrografu a automatického zrážkomera.

**Tab. 3:** Mediány denných úhrnov zrážok v období pred a po automatizácii pre porovnanie vrámci klimatických dát a pre porovnanie meraní ombrografom a zrážkomerom a rozdiely týchto mediánov, Kocelovice – obdobie 1982-1999/2000-2009.

<i>Kocelovice:</i>	referenčné denné dáta			porovnanie ombrograf/zrážkomer		
mesiac	medián pred [mm]	medián po [mm]	$\Delta$ medián [mm]	medián om. [mm]	medián zr. [mm]	$\Delta$ medián [mm]
apríl	0,90	1,20	-0,30	1,80	1,30	0,50
máj	1,50	2,30	-0,80	2,40	2,30	0,10
jún	1,60	2,40	-0,80	2,40	2,40	0,00
júl	1,95	1,95	0,00	2,80	1,80	1,00
august	1,40	1,90	-0,50	2,95	1,90	1,05
september	0,60	1,25	-0,65	1,90	1,10	0,80
október	0,30	0,50	-0,20	1,70	0,70	1,00

**Tab. 4:** Rovnako ako Tab. 3, ale pre Tábor – obdobie 1978-1996/1999-2017.

<i>Tábor:</i>	referenčné denné dáta			porovnanie ombrograf/zrážkomer		
mesiac	medián pred [mm]	medián po [mm]	$\Delta$ medián [mm]	medián om. [mm]	medián zr. [mm]	$\Delta$ medián [mm]
apríl	1,60	1,15	0,45	1,80	1,20	0,60
máj	1,80	2,20	-0,40	1,90	2,20	-0,30
jún	2,30	2,30	0,00	2,70	2,15	0,55
júl	2,80	1,90	0,90	3,10	2,00	1,10
august	1,90	2,05	-0,15	2,55	2,05	0,50
september	1,30	1,50	-0,20	2,10	1,50	0,60
október	0,70	1,10	-0,40	1,60	1,10	0,50

**Tab. 5:** Rovnako ako Tab. 3, ale pre Ostravu - Porubu - obdobie 1986-1997/1998-2009.

<i>Ostrava-Poruba:</i>	referenčné denné dáta			porovnanie ombrograf/zrážkomer		
mesiac	medián pred [mm]	medián po [mm]	$\Delta$ medián [mm]	medián om. [mm]	medián zr. [mm]	$\Delta$ medián [mm]
máj	2,80	2,30	0,50	3,80	2,30	1,50
jún	3,05	2,30	0,75	3,50	2,30	1,20
júl	1,85	3,05	-1,20	2,05	2,95	-0,90
august	2,50	2,20	0,30	3,30	2,20	1,10
september	2,90	2,10	0,80	3,10	1,80	1,30
október	1,40	1,30	0,10	2,00	1,30	0,70

**Tab. 6:** Rovnako ako Tab. 3, ale pre Hradec Králové – obdobie 1975-1994/1999-2017.

<i>Hradec Králové:</i>	referenčné denné dáta			porovnanie ombrograf/zrážkomer		
mesiac	medián pred [mm]	medián po [mm]	$\Delta$ medián [mm]	medián om. [mm]	medián zr. [mm]	$\Delta$ medián [mm]
apríl	1,60	1,20	0,40	2,00	1,30	0,70
máj	2,25	2,20	0,05	2,50	2,20	0,30
jún	2,30	1,40	0,90	2,60	1,45	1,15
júl	2,75	1,70	1,05	2,00	1,75	0,25
august	2,65	2,55	1,10	3,30	2,60	0,70
september	1,90	1,10	0,80	2,40	1,10	1,30
október	1,20	0,90	0,30	1,90	0,90	1,00

Z tabuliek 3-6 je zrejmých hneď niekoľko výsledkov. Prvým je fakt, že obdobie pred automatizáciou má jemne iný zrážkový charakter ako obdobie po automatizácii. Mediány u väčšiny mesiacov pre stanice Kocelovice a Tábor sú v dobe pred automatizáciou vyššie, čo môže znamenať, že sa všeobecne v tomto období vyskytlo viac vyšších denných úhrnov zrážok, prípadne menej nízkych denných úhrnov zrážok, ako v období po automatizácii. Opačný charakter vykazuje napríklad mesiac júl na stanici Ostrava-Poruba (viď. Tab. 5), kedy bol medián v období po automatizácii až o 1,2 mm nižší, ako v období pred automatizáciou. Z toho potom pramení fakt, že na obr. 22 je ako jediný medián, ktorý sa týka merania zrážkomerom, vyšší od mediánu ombrografu práve v tomto mesiaci. Rovnaký

charakter vykazuje mesiac máj na staniciach Kocelovice a Tábor, teda zdvihnutie mediánu zrážkomera bližšie k ombrografu je zapríčinené zmenou počasia, nie rozdielom v meraní.

Na druhej strane, keď sa pozrieme na mesiace, kedy bol vplyv počasia zanedbateľný (rozdiely mediánov okolo nuly, vid'. Tab. 3-6), tam je jasne vidno, že prevažujú podstatne vyššie mediány u ombrografov, najvýraznejší je tento charakter na stanici Kocelovice (vid' Obr. 18 – mesiace apríl, júl a október, ktoré sa všetky vyznačujú malým vplyvom klímy). To taktiež dokumentuje fakt, že ombrograf má takmer vo všetkých prípadoch vyššiu hodnotu mediánu ako referenčné klimatické dáta. Okrem toho, z tab. 3-6, konkrétne zo stĺpcov 4 a 7, jasne vidno, že rozdiel v mediánoch medzi ombrografom a zrážkomerom je takmer vo všetkých prípadoch navýšený oproti rozdielu v mediánoch klimatických dát.

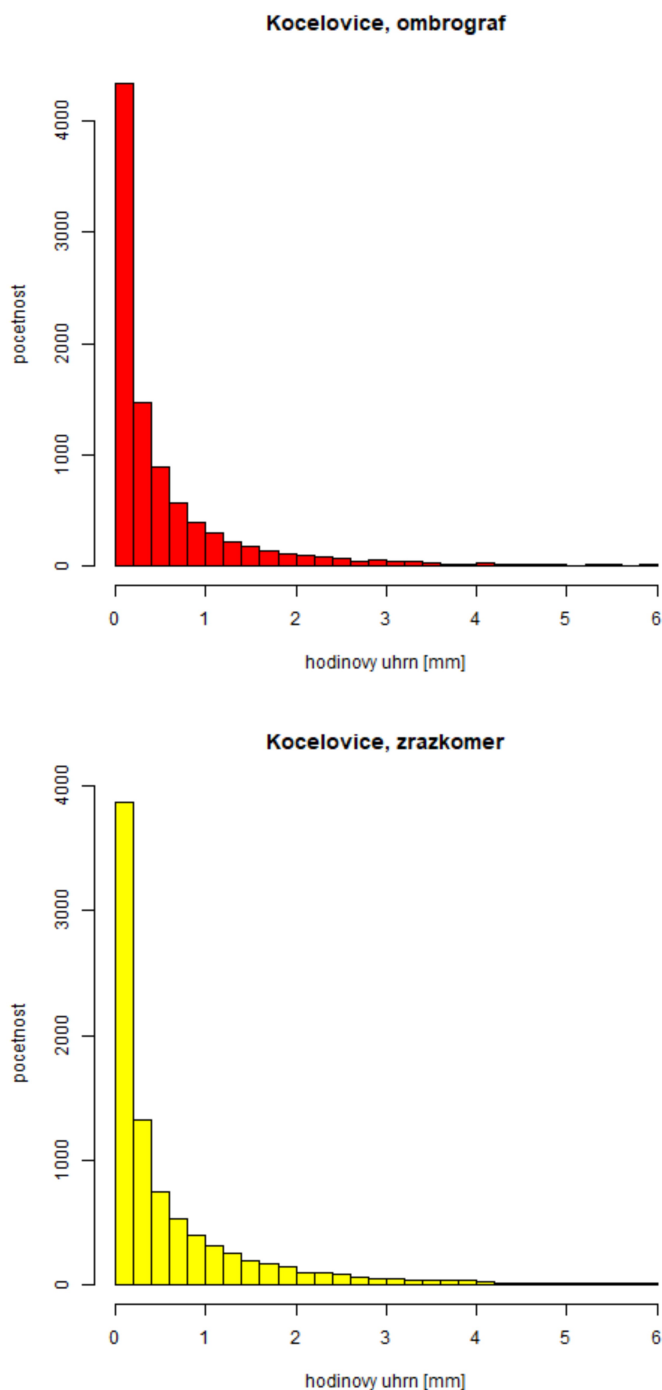
Z iných charakteristík štatistického súboru možno spomenúť (obr. 17-24), že horný kvartil väčšiny boxplotov týkajúcich sa ombrografu je tiež výrazne vyšší v porovnaní s klimatickými dátami. Z toho plynú aj väčšie IQR (medzikvartilové rozpätia). Na druhej strane posuny horných kvartilov či zmeny IQR sú v prípade automatického zrážkomera z obr. 17-24 ťažko viditeľné, čo zodpovedá tomu, že zrážkomer má podstatne väčšie zhody s klimatickými dátami v porovnaní s ombrografom.

Na základe týchto faktov, kedy má ombrograf vo väčšine prípadov vyšší medián denných úhrnov zrážok ako automatický zrážkomer, možno vyvodiť rovnaké závery ako v podkapitole 5.2, kde boli porovnávané merania ombrografom a automatickým zrážkomerom počas súčasných meraní. A síce, že ombrograf nie je dostatočne citlivý pri nízkych denných úhrnoch blízkyh nule a automatický zrážkomer pri intenzívnych zrážkach podhodnocuje celkový úhrn. Oba tieto možné scenáre vzniku prípadnej nehomogenity prechodom na inú meraciu techniku sú v súlade s vyššími mediánmi a IQR u ombrografických meraní.

### **5.3.2 Hodinové úhrny zrážok**

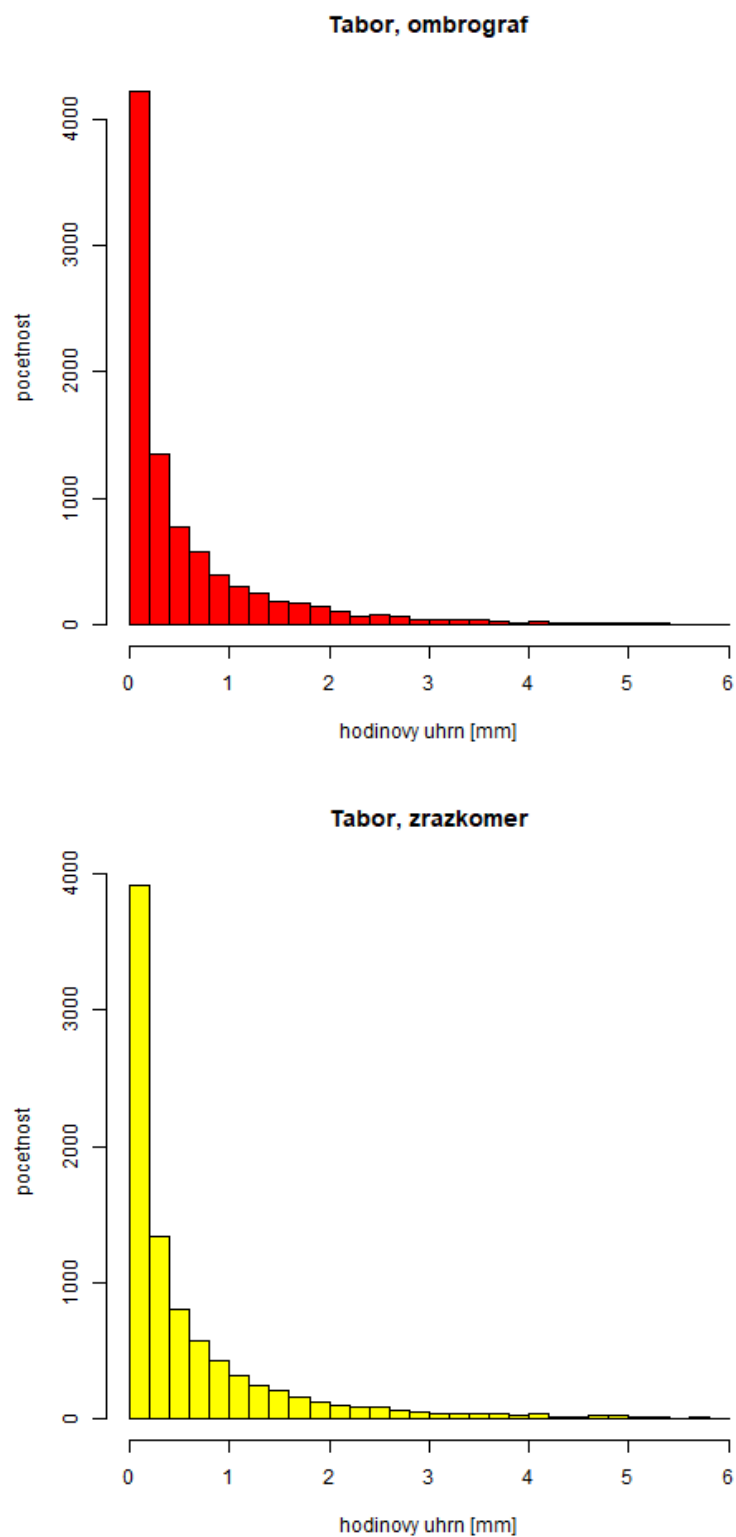
Ďalším časovým merítkom v porovnaní období pred a po automatizácii meraní zrážok je hodina. Nakoľko sa jedná o podstatne kratšie intervaly ako tomu bolo v

prípade dní, rozdelenie týchto úhrnov nemusí vykazovať úplne rovnaký charakter ako v dennom merítku. Na nasledujúcich obrázkoch sú vykreslené histogramy hodinových úhrnov zrážok pre všetky stanice.

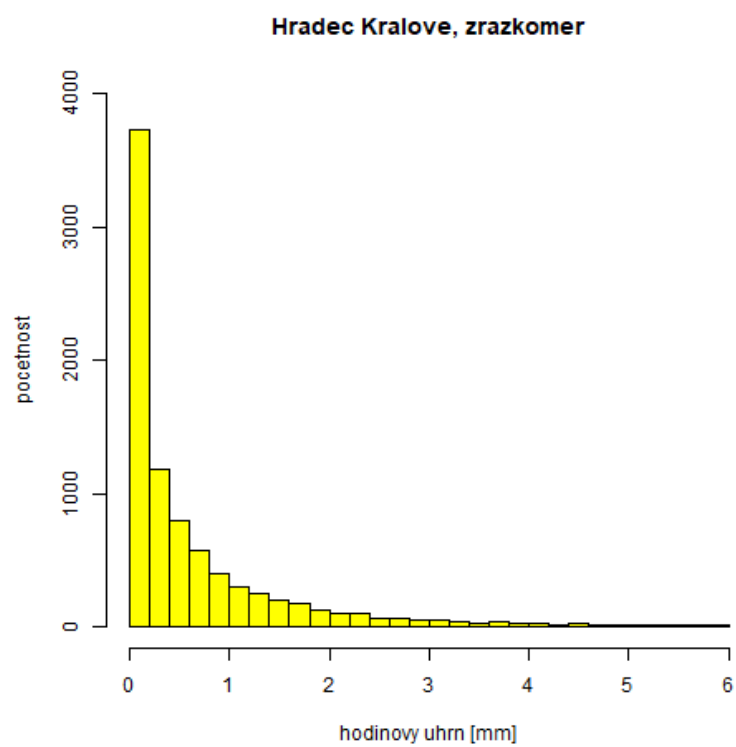
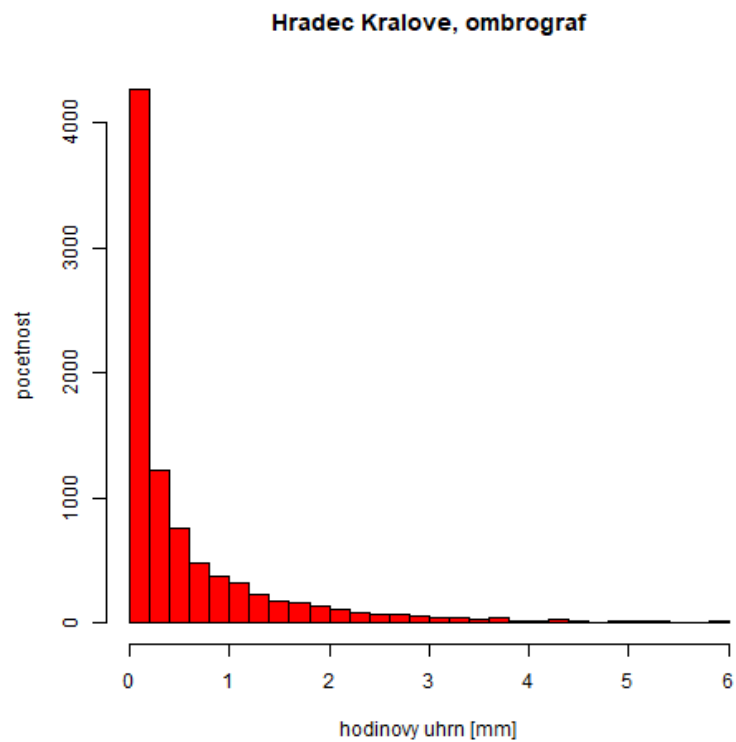


**Obr. 26:** Rozdelenie hodinových úhrnov v mm, stanica Kocelovice – obdobia 1982-1999 (červená) a 2000-2017 (žltá).

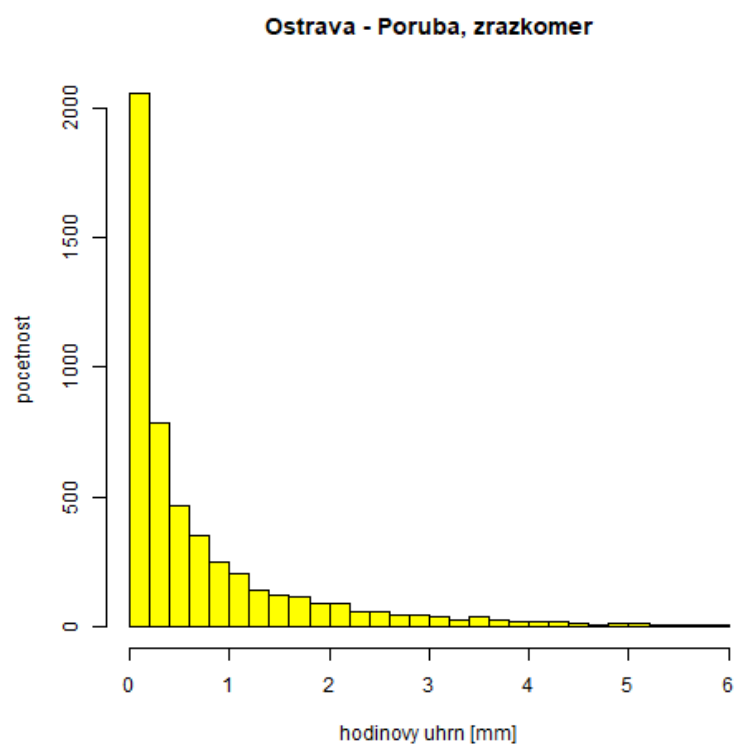
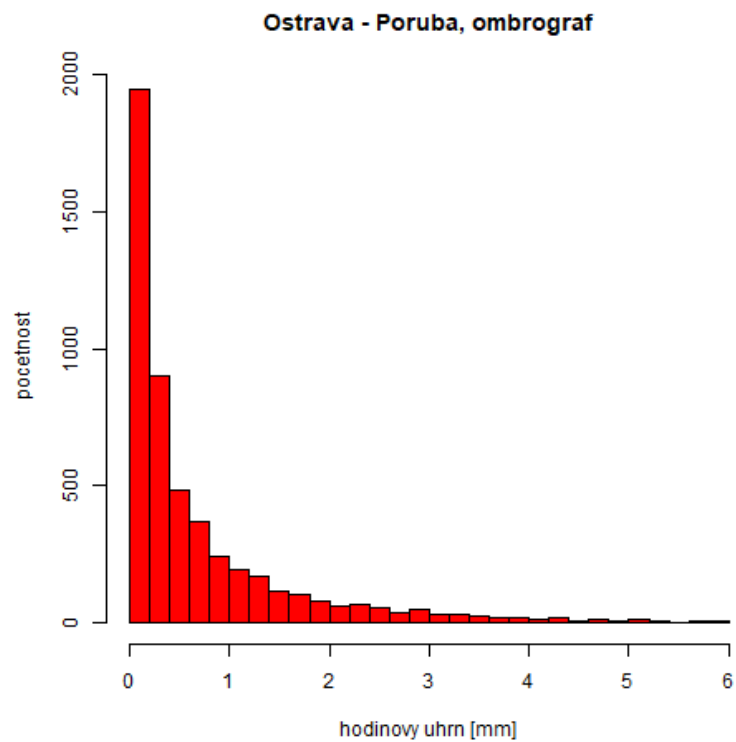




**Obr. 27:** Rovnako ako obr. 25, stanica Tábor – obdobia 1978-1996 (červená) a 1999-2017 (žltá).



**Obr. 28:** Rovnako ako obr. 25, stanica Hradec Králové – obdobia 1975-1994 (červená) a 1999-2017 (žltá).



**Obr. 29:** Rovnako ako obr. 25, stanica Ostrava-Poruba – obdobia 1986-1997 (červená) a 1998-2009 (žltá).

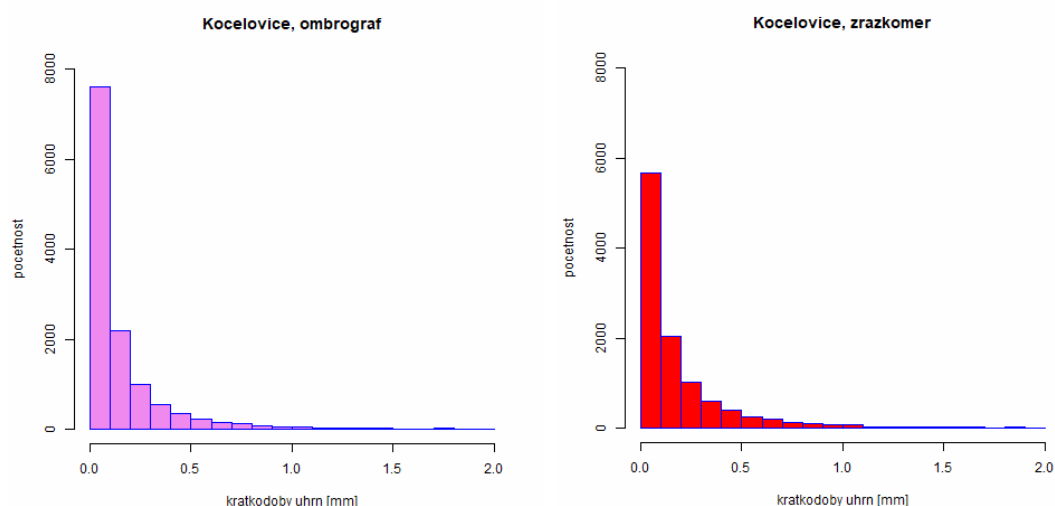
**Tab. 7:** Počty hodinových úhrnov v jednotlivých intervaloch pre všetky stanice v príslušných obdobiach meraní ombrografom a automatickým zrážkomerom (uvedených v popisoch obr. 26-29). Skratky ombro. a zr. predstavujú ombrograf a automatický zrážkomer.

	Kocelovice		Tábor		Hradec Králové		Ostrava-Poruba	
Hodnoty [mm]	ombro.	zr.	ombro.	zr.	ombro.	zr.	ombro.	zr.
≠ 0,0	9330	8830	9157	8958	8901	8595	5204	5290
0,1	3050	2796	2999	2712	3287	2698	1285	1431
0,2-0,5	3239	2802	3013	2972	2632	2645	1842	1655
0,6-1,0	1159	1281	1103	1370	1000	1334	713	846
1,1-2,0	940	1074	1057	1049	1004	1064	658	674
2,1-3,0	348	405	370	381	371	387	270	302
3,1-5,0	246	272	266	287	256	266	186	235
> 5,0	165	207	152	198	162	202	143	173

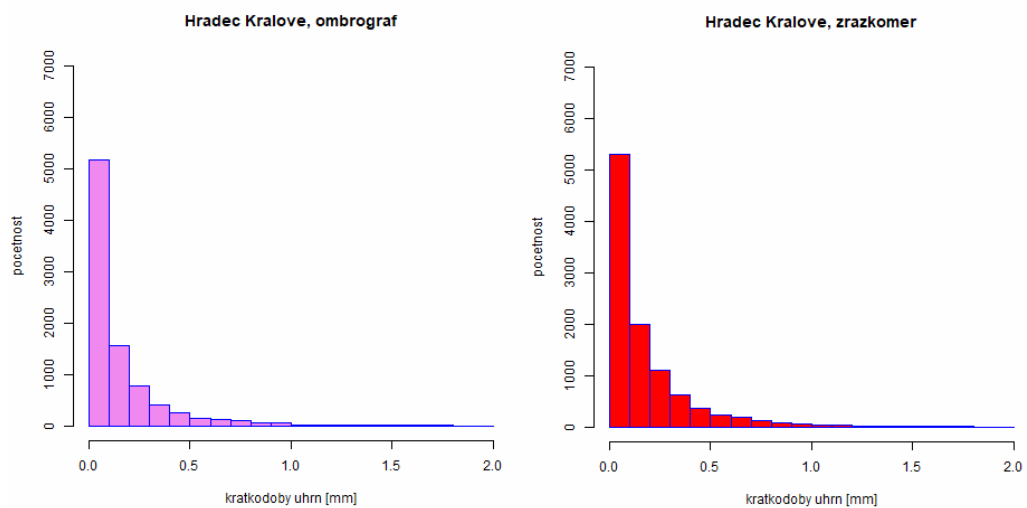
Z tab. 7 je vidno, že ombrograf zväčša zaznamenal viac nenulových hodinových úhrnov zrážok ako automatický zrážkomer, výnimkou je iba stanica Ostrava-Poruba, kde jemne prevyšuje zrážkomer. Zaujímavou črtou je fakt, že od hodnoty hodinového úhrnu 0,6 mm začína zväčša jemne prevažovať zrážkomer, avšak prevaha nie je výrazná. Nakoľko hodinové referenčné dáta už samozrejme k dispozícii nemáme, nie je ľahké z rozdielov vyseparovať rozdiely spôsobené zmenou klímy. Orientačne sa ale možno pozrieť na fluktuácie denných úhrnov zrážok, ktoré sú uvedené na obr. 23-26. Napríklad solídnu zhodu možno vyčítať z tab. 7 v kombinácii s obr. 23. Na obr. 23 bolo vidno, že mediány denných úhrnov zrážok v období pred automatizáciou boli pomerne výrazne nižšie, ako v období po nej. V tab. 7 zasa možno vidieť, že ombrograf zaznamenal výrazne viac úhrnov v rozpätí 0,1 – 0,5 mm ako zrážkomer (6289 ku 5598). Taktiež súčet úhrnov vyšších ako 3 mm je vyšší na zrážkomere (411 ku 479). Tieto dve charakteristiky (viac nízkych úhrnov na ombrografe a viac vyšších úhrnov na zrážkomere) si neodporujú so zistenými závermi z predošlých kapitôl, nakoľko tentokrát sú zodpovedné za nižšie mediány ombrografu, ktoré sú spôsobené zmenou klímy.

### 5.3.3 Krátkodobé úhrny zrážok

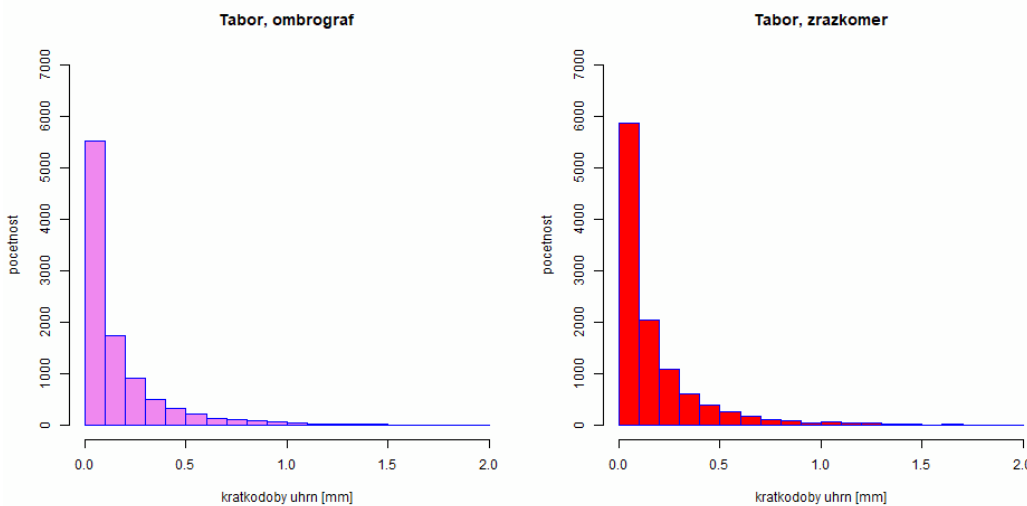
Na záver analýzy obdobia pred a po automatizácii meraní boli vykreslené histogramy 10-minútových úhrnov zrážok. Nakoľko automatické zrážkomery merali do sezóny 2009 v 15-minútových intervaloch, pre všetky stanice budú porovnané 8-ročné obdobia – na zrážkomeroch to bude 2010-2017 vrátane, na ombrografoch to bude posledných 8 sezón z období, ktoré boli používané v predošlých podkapitolách. To znamená že na stanici Kocelovice sa jedná o obdobie 1992-1999, na stanici Tábor 1989-1996, v Hradci Králové 1986-1994 a na stanici Ostrava-Poruba ide o obdobie 1990-1997.



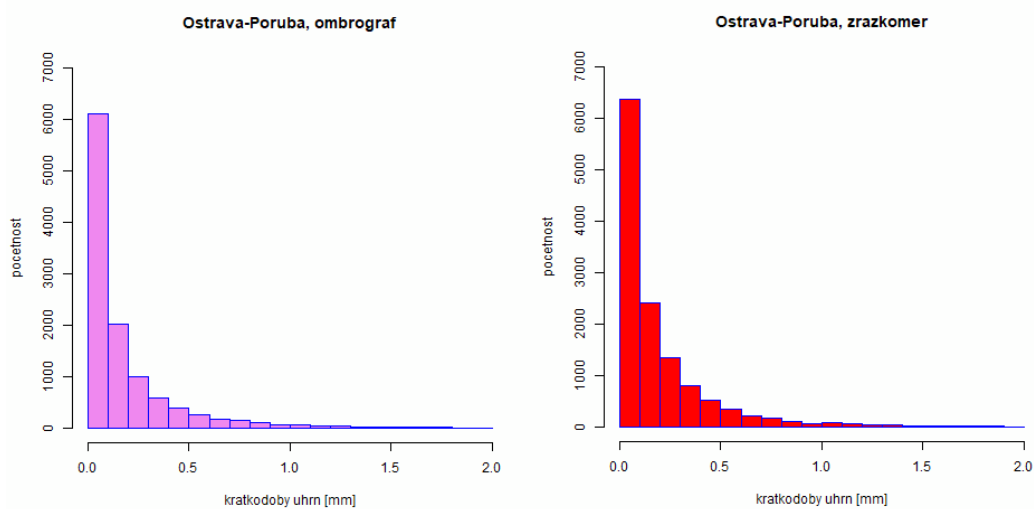
**Obr. 30:** Histogram 10-minútových úhrnov zrážok, Kocelovice. Fialová: ombrograf, červená: zrážkometer - obdobia 1992-1999, resp. 2010-2017.



**Obr. 31:** Rovnako ako ob. 30, Hradec Králové – obdobia 1986-1994/2010-2017.



**Obr. 32:** Rovnako ako ob. 30, Tábor – obdobia 1989-1996/2010-2017.



**Obr. 33:** Rovnako ako ob. 30, Ostrava-Poruba – obdobia 1990-1997/2010-2017.

Z obr. 31-33 vidno, že úhrnov 0,1-0,2 mm má zrážkomer viac, pričom na všetkých týchto troch obrázkoch zhruba v rovnakom pomere. Výnimkou je stanica Kocelovice (viď. obr. 30). Tam je situácia diametrálne odlišná a vidno, že ombrograf má týchto malých úhrnov výrazne viac. Dôvod je otázný, možno predpokladať, že na tejto stanici sa porovnávané obdobia výrazne líšia čo sa týka zrážkových pomerov (klimatická príčina), avšak skontrolované referenčné dáta v takto krátkom merítke samozrejme k dispozícii nemáme, takže odhalenie vplyvu tohto typu je teraz nemožné, na rozdiel od analýzy denných úhrnov zrážok. Je vhodné uvážiť, že na stanici Kocelovice sa 4.6.2010 prešlo na merania automatickým váhovým zrážkomerom, avšak po stručnom porovnaní rozdelení krátkodobých úhrnov u tohto zrážkometra s člnkovým zrážkomerom nebol zistený žiaden zrejmy rozdiel medzi týmito dvoma meracími technikami. Nakoľko zvyšné 3 obrázky (obr. 31-33) vykazujú stabilne prakticky rovnaký charakter čo sa týka týchto nízkych úhrnov, priklonil by som sa k tomu, že na stanici Kocelovice sú porovnávané obdobia výrazne ovplyvnené zmenou zrážkových pomerov. Ďalší faktor, ktorý je nutné brať do úvahy je fakt, že porovnávané obdobia sú u všetkých staníc len 8 rokov dlhé, z čoho je jasné, že šanca, že obe obdobia budú mať zhruba rovnaký zrážkový charakter, nie je príliš veľká. Z toho môže prameniť aj charakteristika vysokých krátkodobých úhrnov, konkrétne 10-minútových úhrnov vyšších ako 2,0 mm, ktorá je v rozpore s charakteristikou vysokých denných úhrnov, teda s podhodnocovaním úhrnov zrážok pri intenzívnych zrážkach automatickým zrážkomerom. Totižto iba na stanici Ostrava-Poruba týchto úhrnov nameral viac ombrograf, aj to iba o 10 (181 ombrograf, 171 zrážkomer). Na ostatných staniciach ide o opačný pomer, na stanici Kocelovice to je 129/165, na stanici Hradec Králové 121/168 a na stanici Tábor 102/171.

## Záver

Cieľom prvej časti práce bolo oboznámenie sa so základnými metódami detekcie nehomogenít v klimatických časových radoch. V kapitole 1 sa nachádza stručný popis kontroly kvality dát. Kapitola 2 sa venuje základným a najčastejšie používaným metódam detekcie nehomogenít v časových radoch v ČR. Ďalšia kapitola sa zaoberá najprv klasifikáciou zrážok, následne sú tu uvedené základné typy meracích prístrojov používaných nielen v ČR ale aj v zahraničí. Charakteristiku nami obdržaných dát od ČHMÚ, geografický popis príslušných štyroch staníc a históriu meraní zrážok na týchto staniach môžeme nájsť v kapitole 4. Najobsiahlejšiu časť práce tvoria výsledky analýzy dát, ktoré sa nachádzajú v kapitole 5.

Na úvod analýzy dát bola prevedená kontrola kvality dát z ombrografických meraní v podobe porovnania vyčíslených denných úhrnov z ombrografu s už skontrolovanými referenčnými klimatickými dennými dátami. Skontrolované boli ombrografické dáta na všetkých štyroch analyzovaných staniach. Relatívne najkvalitnejšími ombrografickými dátami disponuje stanica Tábor (tab. 2), kde len 0,7% nenulových denných úhrnov na ombrografe malo s klimatickými dátami odchýlku v absolútnej hodnote väčšiu ako  $\pm 1$  mm. Veľmi podobnú kvalitu dát majú aj stanice Kocelovice a Hradec Králové, kde bolo týchto odchýlok len 0,8%, resp. 0,9% zo všetkých nenulových denných dát. Najhoršou kvalitou ombrografických dát disponuje stanica Ostrava-Poruba, kedy až 3,0% (tab. 2) nenulových denných úhrnov malo odchýlku od klimatických dát väčšiu ako  $\pm 1$  mm. Veľkú časť týchto relatívne veľkých odchýliek na stanici Ostrava-Poruba tvorili výpadky meraní. Vplyv týchto častejších výpadkov v porovnaní s ostatnými stanicami na výsledky analýzy úplne zrejme nie je, nakoľko výsledky sa vo väčšine prípadov zhodujú s ostatnými stanicami. Z toho usudzujem, že distribúcia zrážkových úhrnov počas výpadkov je pomerne rovnomerná, čo znamená, že na celkové rozdelenie zrážkových úhrnov tieto výpadky vplyv nemajú.

V podkapitole 5.2 boli porovnávané súbežné merania ombrografom a automatickým člnkovým zrážkomerom na staniach Kocelovice a Ostrava-Poruba. Na začiatok boli vykreslené histogramy nenulových diferencií denných úhrnov



zrážok pre jednotlivé mesiace (obr. 2-7, resp. 8-14). V nasledovnej analýze týchto denných diferencií sa zistilo, že zdroj nehomogenity môže predstavovať nízka citlivosť ombrografu pri nízkych denných úhrnoch či podhodnocovanie zrážkových úhrnov pri intenzívnych zrážkach zrážkomerov. V ďalšej časti podkapitoly (5.2.2) boli analyzované hodinové úhrny zrážok v období súbežných meraní, taktiež prostredníctvom histogramov (obr. 15, 16). Tu sa síce ukázalo, že hodinových úhrnov v rozpätí 0,2 – 0,5 mm mal viac ombrograf, avšak úhrnov 0,1 mm mal naopak výrazne viac zrážkomer, čo potvrdilo záver z predošlej podkapitoly. Taktiež, úhrnov nad 4 mm mal opäť viac ombrograf, čo tiež potvrdzuje záver o podhodnocovaní intenzívnych zrážok automatickým zrážkomerom. Analýze krátkodobých zrážok v tomto období sme sa nevenovali, nakoľko automatický zrážkomer v tomto období meral v 15-minútovom kroku, zatiaľ čo ombrograf v 10-minútovom.

Nasledujúca podkapitola 5.3 už bola venovaná porovnaniu rovnako dlhých období pred a po automatizácii. V úvodnej časti sme sa opäť venovali denným úhrnom zrážok, tentokrát prostredníctvom boxplotov (obr. 17-24). Pre odstránenie vplyvu zmeny klímy boli súčasne vykreslené aj boxploty, ktoré porovnávali charakter denných úhrnov zrážok pred a po automatizácii v rámci referenčných denných klimatických dát. Po následnom porovnaní bolo jasne vidno, že ombrografické merania vykazovali podstatne vyššie hodnoty mediánu ako referenčné dáta (tab. 3-6). V prípadoch, kedy bol vplyv počasia nezanedbateľný, bol tento vplyv potláčaný nehomogenitou vzniknutou prechodom na inú meraciu techniku. Charakter tejto nehomogenity (teda zvyšovanie mediánov nenulových denných úhrnov zrážok) opäť korešponduje so závermi z predošlých podkapitol.

Na záver analýzy dát boli porovnané hodinové (5.3.2) a 10-minútové (5.3.3) zrážkové úhrny (obr. 26-33). Tu výsledky tiež sčasti korešpondovali s predošlými závermi, avšak vyskytli sa aj výnimky, ktoré, hlavne u 10-minútových intervaloch, môžu z veľkej časti súvisieť so zmenou klímy. Taktiež, porovnávané obdobia boli príliš krátke (8 rokov).

Hlavným výsledkom analýzy dát je možný prameň nehomogenity spôsobenej prechodom na inú meraciu techniku. Ten pripisujeme nedostatočnej citlivosti ombrografu u nízkych úhrnoch zrážok a problémom spojenými s meraním zrážok vysokej intenzity automatickým člnkovým zrážkomerom.

## Zoznam literatúry

BRÁZDIL, R., ŠTĚPÁNEK, P. (1998): *Kolísání teploty vzduchu v Brně v období 1891-1995*. Geografie – Sborník České geografické společnosti.

ČESKÁ METEOROLOGICKÁ SPOLEČNOST [online]: *Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS)* [cit. 11.04.2019].

Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>.

EASTERLING, P. T., PETERSON, T. C. (1995): *A new method for detecting and adjusting for undocumented artificial discontinuities in climatic time series*. Int. J. Climatol.

KABACOFF, R. I. (2011): *R IN ACTION: Data analysis and graphics with R. Basic graphs – boxplots*, 6 (pp. 119-140). Shelter Island, NY 11964, Manning Publications Co.

KNĚŽÍNKOVÁ, B., BRÁZDIL, R., ŠTĚPÁNEK, P. (2010): Meteorologické zprávy, 63: *Porovnání měření srážek srážkoměrem METRA 886 a automatickým člunkovým srážkoměrem MR3H ve staniční síti českého hydrometeorologického ústavu*, (str. 147-154).

NUSTYEN, J. A., PRONI, J. R. (1996): *A Comparison of Automatic Rain Gauges*. NOAA/Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, Ocean Acoustics Division, Miami, Florida.

RUDA., A. (2006): *Regionální geografie České republiky 1. Socioekonomická geografie České republiky*, 8 (str. 21-33).

ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., BRÁZDIL, R., TOLASZ, R. (2011): *Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii*. Český hydrometeorologický ústav, specializovaná knihovna, Praha.

ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P, FARDA, A. (2012): Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service Vol. 117, No. 1. *Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961-2010* (pp. 123-141).

## **Zoznam tabuliek**

Tab. 1: *Popis mapy staníc z Obr. 1., str. 16.*

Tab. 2: *Výsledky kontroly dát ombrografu, str. 19.*

Tab. 3: *Mediány období pred a po automatizácii pre porovnanie vrámci klimatických dát a pre porovnanie meraní ombrografom a zrážkomerov a rozdiel týchto mediánov vrámci porovnaní, Kocelovice – obdobie 1982-1999/2000-2009, str. 39.*

Tab. 4: *Rovnako ako Tab. 3, Tábor – obdobie 1978-1996/1999-2017, str. 40.*

Tab. 5: *Rovnako ako Tab. 3, Ostrava-Poruba – obdobie 1986-1997/1998-2009, str.40*

Tab. 6: *Rovnako ako Tab. 3, Hradec Králové – obdobie 1975-1994/1999-2017, str. 40*

Tab. 7: *Počty hodinových úhrnov v jednotlivých intervaloch pre všetky stanice v príslušných obdobiach (uvedených v popisoch obr. 26-29), str. 46.*

## **Zoznam skratiek**

ČHMÚ: Český hydrometeorologický ústav.

IQR: Medzikvartilové rozpätie (interquartile range).